

OS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (PCM) NO CONTROLO DAS HUMIDADES ASCENSIONAIS EM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

HÉLDER STEVEN BARBOSA FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira e
Sá

Coorientador: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos
Guimarães Teixeira

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À família e aos amigos

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta dissertação gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todos os que tornaram possível a sua realização.

À empresa Rubitherm Technologies GmbH pelo interesse demonstrado no trabalho, pela rapidez na resposta aos meus pedidos e pela disponibilização dos materiais de mudança de fase, PCM necessários para a realização da análise laboratorial.

À Professora Doutora Ana Vaz Sá, orientadora desta dissertação, por esta oportunidade, pela disponibilidade, apoio científico, estímulo permanente, pela simpatia constante e pela bibliografia fundamental ao desenvolvimento desta dissertação.

À Professora Doutora Ana Sofia Guimarães, coorientadora deste projeto, pela amabilidade e disponibilidade manifestadas desde o início e pelo apoio na campanha experimental.

Ao Professor Doutor Nuno Ramos e ao Engenheiro Pedro Pereira, pelo apoio prestado na utilização do Laboratório de Física das Construções.

Ao Professor Doutor João Delgado por me auxiliar com o programa de cálculo WUFI 2D.

Ao Professor Doutor António Arêde e ao Engenheiro André Furtado pela cedência dos materiais para a campanha experimental e pelo corte dos provetes.

À Engenheira Joana Maia pela atenção e ajuda nas dúvidas periódicas que foram surgindo na fase experimental desta dissertação.

Aos meus pais, pelo apoio nesta fase final de uma longa caminhada, por todos os ensinamentos e valores de coragem, trabalho e perseverança que me transmitiram.

Ao meu irmão pelo apoio e encorajamento fundamentais ao longo desta jornada académica.

À Joana Cardoso pelo caminho que percorremos juntos nestes últimos anos e por todo o apoio e compreensão dado nos bons e maus momentos que me ajudaram a concretizar esta dissertação.

Finalmente, à compreensão e estima de todos os meus familiares e amigos.

RESUMO

Os materiais de construção usados em paredes e fundações que se encontram em contato com o solo podem deparar-se com o fenómeno da humidade através de capilaridade. Os materiais de construção como: tijolos, pedra, argamassa ou betão, têm uma maior extensão porosa e através desses poros, ou seja através de microcapilares que existem na sua estrutura diligenciam uma ascensão da humidade vinda do solo. Devido à ação da capilaridade, a subida e movimentação da água pela parede acima dá origem a um campo magnético adicional, que aumenta o efeito da capilaridade. Este fenómeno ocorre devido à polarização das moléculas de água, que suavemente decresce em direção à parede. A elevação a que chega depende de vários fatores, tais como: as condições climáticas do ambiente envolvente, a espessura das paredes e a porosidade dos materiais. A humidade ascensional que daí resulta é a maior causa de degradação, com importantes efeitos destrutivos, no que diz respeito à aparência e à durabilidade dos materiais de construção.

A aplicação de materiais de mudança de fase (PCM) em elementos construtivos são essencialmente para aumentar o conforto térmico devido à sua capacidade de armazenar o calor em forma de calor latente. Estes materiais (PCM) têm sido alvo de estudos e testes para diferentes soluções de modo a aumentar a eficiência energética dos edifícios.

O objetivo desta dissertação é avaliar a possibilidade de utilizar os PCM para diminuir a humidade ascensional nos elementos construtivos que se encontrem em contato com o solo. A impregnação dos PCM nos poros da estrutura dos elementos de construção pode evitar, potencialmente a ascensão da capilaridade ou do movimento da água através dos microcapilares.

Campanhas experimentais e simulações numéricas são usadas para prever a ascensão da água na parede tendo conta as características do material usado e as condições climáticas do meio envolvente. A influência dos PCM na avaliação da humidade ascensional é assegurada e os resultados globais são apresentados com o objetivo de avaliar as diferenças comportamentais dos PCM com os simples materiais de construção usados geralmente.

PALAVRAS-CHAVE: capilaridade, humidade ascensional, materiais de mudança de fase (PCM), eficiência energética, diferenças de comportamento.

ABSTRACT

Construction materials of walls and foundations that are in contact with the ground are face up to capillary damp. Construction materials like: brick, stone, mortar or concrete, are to a greater or lesser extent porous, through them, that is through microcapillaries existing in their structure, damp gradually moves upward from the soil. Due to capillary action, water climbs up the wall, and while moving, creates an additional electromagnetic field in the wall, which enhances the capillary effect. This phenomenon occurs due to the polarization of water molecules, slowly decreasing in an upward wall direction. The height reached depends on several aspects, namely: the climatic conditions of the environment, the wall thickness and the porosity of the materials. The derived rising damp is a major cause of degradation with important damaging effects on the appearance and durability of construction materials.

The uses of Phase Change Materials (PCM) in constructive elements are mainly used for increasing thermal comfort owing to its heat storage capacity in the form of latent heat. These materials (PCM) has been studied and tested for several solutions in order to increased energy efficiency of buildings.

This paper aims to assess the possibility of using PCM to diminish the rising damp in construction elements in contact with the ground. The impregnation of PCM in the porous structure construction materials can potentially avoid the capillary damp, or the water movement thought microcapillaries.

Experimental campaigns and numerical simulations are used to predict the water ascension through the wall due to material characteristics and climatic conditions. The influence of PCM on rising damp mitigation is assessed and the global results are presented with the goal of highlighting behavioural differences in regard to common construction materials.

KEYWORDS: capillary, rising damp, phase change materials (PCM), energy efficiency, behavioural differences.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO DA TESE	2
1.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO	3
2. HUMIDADE ASCENSIONAL	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. FATORES QUE CONDICIONAM AS HUMIDADES ASCENSIONAIS	6
2.3. DIAGNÓSTICO DE HUMIDADES ASCENSIONAIS	8
2.4. TÉCNICAS DE TRATAMENTO	9
2.4.1. INSERÇÃO DE TUBOS DE AREJAMENTO	9
2.4.2. SISTEMAS ELETRO-OSMÓTICOS	10
2.4.3. OCULTAÇÃO DE ANOMALIAS	10
2.4.4. EXECUÇÃO DO CORTE HÍDRICO	11
2.4.5. VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES	12
2.4.6. REDUÇÃO DA SEÇÃO ABSORVENTE	13
2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO	14
3. MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE	15
3.1. INTRODUÇÃO	15
3.2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS	16
3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PCM E SUAS PROPRIEDADES, CLASSES E CATEGORIAS	19
3.4. INCORPORAÇÃO DE PCM EM MATERIAIS OU COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO	23
3.4.1. IMERSÃO	23
3.4.2. IMPREGNAÇÃO	23
3.4.3. ENCAPSULAMENTO	23

3.5. MATERIAIS E COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO COM PCM	25
3.5.1. LADRILHOS CERÂMICOS	25
3.5.2. PAINÉIS DE GESSO CARTONADO	25
3.5.3. PAREDES DE TROMBE	26
3.5.4. ELEMENTOS À BASE DE BETÃO (PAVIMENTOS E PAREDES)	26
3.5.5. BLOCOS DE BETÃO OU TIJOLO	26
3.5.6. ENVIDRAÇADOS	27
3.5.7. TETOS FALSOS	28
3.5.8. PAVIMENTOS RADIANTES	28
3.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO	29

4. ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CAPILARIDADE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	31
4.1. INTRODUÇÃO	31
4.2. MATERIAIS UTILIZADOS E IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES	32
4.3. DETERMINAÇÃO DO PESO SECO	36
4.4. IMPREGNAÇÃO DE PCM NOS PROVETES	39
4.5. ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE	44
4.5.1. MÉTODO DE ENSAIO	44
4.5.2. PERIODICIDADE DAS PESAGENS	44
4.5.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO	44
4.5.4. DISPOSITIVOS NECESSÁRIOS	45
4.5.5. CURVAS DE ABSORÇÃO CAPILAR	45
4.5.5.1. Material de construção: betão pozolânico	46
4.5.5.2. Material de construção: betão com agregados vulcânicos	48
4.5.5.3. Material de construção: bloco acústico de betão	51
4.5.5.4. Material de construção: bloco térmico de betão	56
4.5.5.5. Análise crítica de resultados: curvas de absorção capilar	56
4.5.6. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO CAPILAR	58
4.5.6.1. Material de construção: betão pozolânico	59
4.5.6.2. Material de construção: betão com agregados vulcânicos	60
4.5.6.3. Material de construção: bloco acústico de betão	61
4.5.6.4. Material de construção: bloco térmico de betão	63

4.5.6.5. Análise crítica de resultados: coeficientes de absorção capilar	64
4.5.7. ALTURA ATINGIDA PELA MANCHA DE HUMIDADE	66
4.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO	68
5. PROGRAMA DE CÁLCULO WUFI 2D	69
5.1. INTRODUÇÃO	69
5.2. PROGRAMA DE CÁLCULO WUFI 2D	70
5.3. CONTEXTUALIZAÇÃO	72
5.4. PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO	72
5.5. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	73
5.6. CONDIÇÕES INICIAIS	73
5.7. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA E EXECUÇÃO DE SIMULAÇÕES	73
5.7.1. INFORMAÇÃO DO PROJETO	73
5.7.2. GEOMETRIA DO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	75
5.7.3. MALHA	76
5.7.4. MATERIAIS.....	77
5.7.4.1. Material disponível na base de dados do programa	77
5.7.4.2. Criação de material no programa	78
5.7.4.3. Definição de materiais de mudança de fase no programa.....	79
5.7.4.4. Materiais utilizados na simulação.....	80
5.7.5. CONDIÇÕES INICIAIS.....	81
5.7.6. CONDIÇÕES DE FRONTEIRA E CLIMA	81
5.7.7. FONTES.....	86
5.7.8. PARÂMETROS COMPUTACIONAIS DE CÁLCULO.....	87
5.7.9. CÁLCULO.....	87
5.7.10. RESULTADOS OBTIDOS.....	88
5.8. SIMULAÇÕES NO PROGRAMA DE CÁLCULO WUFI 2D: CIDADES.....	89
5.8.1. CASO: CIDADE DE BRAGANÇA	89
5.8.2. CASO: CIDADE DO PORTO.....	90
5.8.3. CASO: CIDADE DE LISBOA.....	91
5.8.4 CASO: CIDADE DE BEJA	92
5.8.5 ANÁLISE CRÍTICA DE RESULTADOS	93
5.9. SÍNTESE DO CAPÍTULO	93

6. CONCLUSÕES	95
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	95
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	96
 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97
 ANEXOS	101
A. SÍNTESE DA CAMPANHA EXPERIMENTAL REALIZADA EM TODOS OS PROVETES	103
B. DEFINIÇÃO DAS CURVAS DE ENTALPIA, TEMPERATURA (PCM)	165
C. CAMPANHA EXPERIMENTAL	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1. – Síntese esquemática da metodologia de trabalho	3
Fig.2.1. – Diferentes processos da humificação por águas freáticas e superficiais [1]	5
Fig.2.2. – Progressão da humidade por influência das condições climáticas [5]	6
Fig.2.3. – Progressão da humidade por influência da orientação e insolação [5]	7
Fig.2.4. – Formação de eflorescências e de criptoflorescências [6]	7
Fig.2.5. – Representação de um material com porosidade aberta (à esquerda) e fechada (à direita) [1]	8
Fig.2.6. – Inserção de tubos de arejamento [1].....	9
Fig.2.7. – Sistemas electro-osmóticos [1]	10
Fig.2.8. – Aplicação de revestimentos com porosidade e porometria controlada [1]	10
Fig.2.9. – Execução de uma parede interior com associação da impermeabilização da base desta [1]	11
Fig.2.10. – Concretização de barreiras químicas: injeção e difusão [9]	11
Fig.2.11. – Concretização de barreiras físicas: substituição parcial de elementos de construção [9] ..	12
Fig.2.12. – Sistema de ventilação da base das paredes [9]	13
Fig.2.13. – Redução da seção absorvente [1]	13
Fig.2.14. – Etapas com vista à redução ou eliminação da humidade ascensional	14
Fig.3.1. – Estados físicos da água (da esquerda para direita: sólido, líquido, gasoso) [19]	18
Fig.3.2. – Diagrama de fases da água [20]	19
Fig.3.3. – Categorização dos PCM (gráfico adaptado de Abhat [21])	20
Fig.3.4. – Distribuição das diferentes categorias de PCM em função da temperatura de fusão e da entalpia [20].....	21
Fig.3.5. – Microcápsulas para materiais de mudança de fase (PCM) [29]	24
Fig.3.6. – Macrocápsulas para materiais de mudança de fase (PCM) [31, 32].....	24
Fig.3.7. – Painéis de gesso cartonado com PCM microencapsulado [29]	26
Fig.3.8. – Representação esquemática de um corte de bloco cerâmico contendo PCM macroencapsulado [20]	27
Fig.3.9. – Exemplo de envidraçados e portadas com PCM incorporado [46, 47].....	28
Fig.3.10. – Representações esquemáticas de tetos falsos com PCM, funcionamento diurno à esquerda; funcionamento noturno à direita [20].....	28
Fig.3.11. – Representação esquemática de um pavimento radiante com PCM [20].....	29
Fig.4.1. – Provetes de betão pozolânico à esquerda e de betão com agregados vulcânicos à direita.	32
Fig.4.2. – Provetes de bloco acústico de betão à esquerda e de bloco térmico de betão à direita	32

Fig.4.3. – Exemplo de máquina de corte utilizada [51]	35
Fig.4.4. – Imperfeições geométricas	35
Fig.4.5. – Medição dos provetes	36
Fig.4.6. – Estufa utilizada no ensaio	36
Fig.4.7. – Obtenção do peso seco dos provetes a impregnar PCM	36
Fig.4.8. – Obtenção do peso seco dos provetes.....	36
Fig.4.9. – Material de mudança de fase SP24E.....	39
Fig.4.10. – Material de mudança de fase RT24	39
Fig.4.11. – Impregnação de SP24E	39
Fig.4.12. – Impregnação de RT24.....	39
Fig.4.13. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de betão pozolânico	40
Fig.4.14. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de betão com agregados vulcânicos.....	41
Fig.4.15. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de bloco acústico de betão.....	42
Fig.4.16. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes bloco térmico de betão.....	43
Fig.4.17. – Pesagem a decorrer.....	44
Fig.4.18. – Manutenção nível de água	44
Fig.4.19. – Ensaio a decorrer	45
Fig.4.20. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânico e sem PCM	46
Fig.4.21. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânicos e com PCM SP24E	46
Fig.4.22. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânico e com PCM RT24	47
Fig.4.23. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânico	47
Fig.4.24. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos e sem PCM	48
Fig.4.25. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos e com PCM SP24E	49
Fig.4.26. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos e com PCM RT24.....	49
Fig.4.27. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos.....	50
Fig.4.28. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão e sem PCM	51
Fig.4.29. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão e com PCM SP24E	51
Fig.4.30. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão e PCM RT24	52

Fig.4.31. - Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão	52
Fig.4.32. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão e sem PCM	53
Fig.4.33. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão e com PCM SP24E ..	54
Fig.4.34. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão e com PCM RT24 ...	54
Fig.4.35. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão	55
Fig.4.36. – Curvas de absorção capilar dos provetes dos distintos materiais de construção sem PCM	56
Fig.4.37. – Curvas de absorção capilar dos provetes dos distintos materiais de construção com PCM SP24E	57
Fig.4.38. – Curvas de absorção capilar dos provetes dos distintos materiais de construção com PCM RT24.....	58
Fig.4.39. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de betão pozolânico imersos parcialmente em água.....	59
Fig.4.40. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de betão com agregados vulcânicos imersos parcialmente em água	60
Fig.4.41. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de bloco acústico de betão imersos parcialmente em água	62
Fig.4.42. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de bloco térmico de betão imersos parcialmente em água.....	63
Fig.4.43. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes sem PCM	65
Fig.4.44. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes com PCM SP24E	65
Fig.4.45. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes com PCM RT24	66
Fig.4.46. – Quantificação da altura atingida pela água (proвете T3)	67
Fig.4.47. – Macha de humidade ascensional nos provetes de distintos materiais de construção	67
Fig.5.1. – Janela principal	74
Fig.5.2. – Comandos da janela principal.....	75
Fig.5.3. – Geometria do elemento de construção	75
Fig.5.4. – Adaptação da malha	76
Fig.5.5. – Malha selecionada	76
Fig.5.6. – Seleção de material.....	77
Fig.5.7. – Propriedades na seleção de materiais.....	77
Fig.5.8. – Atribuição do material de construção.....	78
Fig.5.9. – Janela para implementar de um novo material	78
Fig.5.10. – Janela para definição de novo material	79
Fig.5.11. – Lista de materiais definidos pelo utilizador	79
Fig.5.12. – Curva representativa da entalpia de PCM RT24	80

Fig.5.13. – Curva representativa da entalpia de PCM SP24E	80
Fig.5.14. – Condições iniciais.....	81
Fig.5.15. – Condições de fronteira na interface	82
Fig.5.16. – Atribuição de condição de fronteira.....	82
Fig.5.17. – Seleção de condições de fronteira	82
Fig.5.18. – Seleção de condições de fronteira	82
Fig.5.19. – Seleção das condições de fronteira	83
Fig.5.20. – Seleção das condições de fronteira (mapa)	83
Fig.5.21. – Procura de ficheiro climático	83
Fig.5.22. – Seleção de ficheiro climático.....	83
Fig.5.23. – Excerto folha de excel “createclimatefile.xls” para a cidade do Porto	84
Fig.5.24. – Excerto do ficheiro .wac para interface da base do elemento construtivo.....	84
Fig.5.25. – Dados climáticos da base do elemento de construção.....	85
Fig.5.26. – Definição de clima e mudança de nome	85
Fig.5.27. – Dados climáticos restantes faces.....	85
Fig.5.28. – Definição de dados climáticos para as faces	86
Fig.5.29. – Implementação de fontes	86
Fig.5.30. – Parâmetros computacionais “simple”	87
Fig.5.31. – Parâmetros computacionais “enhaced”	87
Fig.5.32. – Cálculo a decorrer	87
Fig.5.33. – Cálculo terminado	88
Fig.5.34. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico (laboratório)	88
Fig.5.35. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (laboratório)	89
Fig.5.36. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade de Bragança)	89
Fig.5.37. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade de Bragança)	90
Fig.5.38. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade do Porto)	90
Fig.5.39. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade do Porto)	91
Fig.5.40. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade de Lisboa)	91

Fig.5.41. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade de Lisboa)	92
Fig.5.42. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade de Beja).....	92
Fig.5.43. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade de Beja)	93

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1. – Valores de condutibilidade térmica, massa volumétrica, calor específico, e calor específico volumétrico de alguns materiais de construção [15-18]	17
Quadro 3.2. – Vantagens e desvantagens das misturas orgânicas, inorgânicas e eutéticas [24]	22
Quadro 3.3. – Propriedades mais importantes na escolha dos PCM a aplicar na envolvente dos edifícios [25]	22
Quadro 4.1. – Dimensões dos provetes de betão pozolânico	33
Quadro 4.2. – Dimensões dos provetes de betão com agregados vulcânicos	33
Quadro 4.3. – Dimensões dos provetes de bloco acústico de betão	34
Quadro 4.4. – Dimensões dos provetes de bloco térmico de betão	34
Quadro 4.5. – Variação de peso dos provetes de betão pozolânico	37
Quadro 4.6. – Variação de peso dos provetes de betão com agregados vulcânicos	37
Quadro 4.7. - Variação de peso dos provetes de bloco acústico de betão	38
Quadro 4.8. - Variação de peso dos provetes de bloco térmico de betão	38
Quadro 4.9. – Influência dos PCM nos provetes de betão pozolânico	40
Quadro 4.10. – Influência dos PCM nos provetes de betão com agregados vulcânicos	41
Quadro 4.11. - Influência dos PCM nos provetes de bloco acústico de betão	42
Quadro 4.12. – Influência dos PCM nos provetes de bloco térmico de betão	43
Quadro 4.13. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de betão pozolânico imersos parcialmente em água	48
Quadro 4.14. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de betão com agregados vulcânicos imersos parcialmente em água	50
Quadro 4.15. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de bloco acústico de betão imersos parcialmente em água	53
Quadro 4.16. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de bloco térmico de betão imersos parcialmente em água	55
Quadro 4.17. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de betão pozolânico imersos parcialmente em água	59
Quadro 4.18. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de betão com agregados vulcânicos imersos parcialmente em água	61
Quadro 4.19. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de bloco acústico de betão imersos parcialmente em água	62
Quadro 4.20. - Coeficientes de capilaridade dos provetes de bloco térmico de betão imersos parcialmente em água	64
Quadro 4.21. – Definição das alturas atingidas pela progressão da humidade ascensional	68

Quadro 5.1. – Programas higrotérmicos em 2D [1]	70
Quadro 5.2. – Propriedades dos materiais de construção [1].....	72
Quadro 5.3. – Parâmetros climáticos.....	73

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

λ - condutibilidade térmica [W/(m.K)]

c_p - calor específico [J/(kg.K)]

C - calor específico volumétrico [kJ/(m³.K)]

α_T - difusibilidade térmica [m²/s]

T - temperatura [°C]

ρ - massa volúmica [kg/m³]

A - coeficiente de absorção por capilaridade [kg/(m².s^{1/2})]

H - entalpia [J/kg]

M_1 - medição realizada aos 10 minutos [kg]

M_2 - medição realizada aos 90 minutos [kg]

M_w - quantidade de água absorvida por unidade de superfície [kg/m²]

M - peso após absorção capilar [kg]

M_0 - peso seco [kg]

S - área da base [m²]

dH/dT - capacidade de armazenamento de calor do material húmido [J/(m³.K)]

$dw/d\phi$ - capacidade de armazenamento de humidade do material húmido [kg/m³]

h_v - entalpia de evaporação da água [J/kg]

D_ϕ - coeficiente de condução líquida [kg/(m.s)]

w - teor de humidade do material [kg/m³]

ϕ - humidade relativa [-]

p_{sat} - pressão de saturação do vapor de água [Pa]

δ_p - permeabilidade ao vapor de água do material [kg/(m.s.Pa)]

e - espessura [cm]

ε - Porosidade [% , m³/m³]

μ - Fator de resistência à difusão do vapor [-]

$f(\phi)$ - Curvas higroscópicas [-]

D_w - Coeficiente de transporte líquido [m²/s]

w_{sat} - Teor de humidade de saturação kg/m³]

PCM - Phase Change Material

GmbH - Gesellschaft mit beschränkter Haftung

WUFI - Wärme Und Feuchte Instationär

LFC - Laboratório de Física das Construções

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

RT - Organic PCM

SP - Inorganic PCM

EN - Norma Europeia

IEA - International Energy Agency

HR - Humidade Relativa

IBP - Institute in Building Physics

1D - Uma Dimensão

2D - Duas Dimensões

Fig - Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A humidade ascensional é uma das principais causas de degradação dos edifícios antigos. Os materiais de construção que se encontram em contacto com o terreno húmido estão sujeitos à absorção, que por capilaridade promove a migração de água através dos capilares de um sólido podendo conduzir ao aparecimento de patologias.

É um fenómeno que ocorre quando a água circula através de materiais de construção, com facilidade em permitirem a passagem de água, conhecidos por materiais permeáveis [1]. A altura atingida pelo avanço de humidade depende das condições climáticas do meio, da insolação, da espessura da parede, da porometria e porosidade dos materiais, da presença de sais e das substâncias dos materiais de revestimento. Contudo a humidade ascensional diminui lentamente no sentido ascendente da parede ou quando existe um equilíbrio entre a absorção e a evaporação de água.

As humidades ascensionais podem provocar o humedecimento das paredes com empolamento e com destacamento da tinta e deterioração muito acentuada dos revestimentos, com frequente criação de eflorescências e a criação de condições de insalubridade e desconforto. Sendo que a eventual tentativa de impermeabilização das faces das paredes afetadas pode agravar o fenómeno aumentando a altura atingida pela mancha de humidade ascensional.

Deste modo para proceder a um correto tratamento das patologias causadas pela humidade ascensional é necessário identificar previamente a sua origem bem como a sua forma e comportamento de manifestação para por conseguinte de entre várias técnicas de tratamento de humidades confinar a que melhor se adequa.

A aplicação de materiais de mudança de fase (PCM) em elementos construtivos tem sido estudada no aumento de conforto térmico devido à sua capacidade de armazenamento de calor, na forma de calor latente. Estes materiais de mudança de fase (PCM) tem sido estudados e testados em várias soluções por contribuírem para o aumento da eficiência energética dos edifícios.

Neste trabalho pretende-se avaliar a possibilidade de utilizar estes materiais, os PCM, para limitar a humidade ascensional dos elementos construtivos em contato com o terreno.

O trabalho prático desenvolvido foi dividido em duas fases distintas. Na primeira pretendeu-se apresentar o desenvolvimento de uma campanha laboratorial. A segunda compreendeu uma análise de simulação numérica.

A campanha experimental foi realizada no Laboratório de Física das Construções - LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, com o intuito de estudar a absorção capilar de

diferenciados materiais de construção tradicionalmente utilizados, com base na norma europeia, EN1015-18 [2]. Deste modo, pretende-se observar o diferente comportamento em termos de absorção capilar entre quatro materiais de construção bem como materiais da mesma natureza com PCM incorporados. Para integrar os materiais de mudança de fase foi necessário perceber qual a capacidade de absorção que se consegue incorporar nos materiais com vazios, conhecidos como materiais porosos [1].

Com base em todo este campo de investigação o outro parâmetro de análise foi a utilização dos resultados obtidos da campanha experimental na simulação numérica realizada.

A simulação numérica feita através do programa de cálculo WUFI 2D [1] foi um suporte à reprodução do que foi criado na campanha experimental em laboratório, para dotar de segurança e firmeza os resultados obtidos, de forma a utilizarmos essa simulação em futuras análises que não sejam capazes de ser estudadas em laboratório e para aumentar a margem de materiais testados.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a possibilidade de aplicar os materiais de mudança de fase (PCM), em elementos construtivos, de forma a limitar ou reduzir a propagação da humidade ascensional. Evidencia-se que os PCM têm vindo a ser utilizados para o aumento do conforto térmico e eficiência energética dos edifícios.

O objetivo principal desta dissertação foi dividido nas tarefas seguintes:

- Observar o diferente comportamento à absorção capilar de correntes materiais de construção;
- Determinar qual a quantidade de material mudança de fase possível de se incorporar a materiais de construção da mesma natureza que os anteriores;
- Observar o diferente comportamento de materiais de construção incorporados com PCM quando sujeitos a absorção capilar;
- Utilizar os resultados obtidos da campanha experimental na simulação numérica realizada;
- Comprovar pelo programa de cálculo WUFI 2D os resultados obtidos na análise experimental de forma a utilizarmos a simulação em futuras análises.

1.3. APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO DA TESE

A estrutura da presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos de forma a atingir o objetivo principal, de avaliar a possibilidade de utilização de PCM no controlo das humidades ascensionais de elementos construtivos. O conteúdo da tese foi então organizado nos capítulos seguintes:

- Capítulo 1 - apresenta um enquadramento, os objetivos do trabalho e introduz os restantes capítulos;
- Capítulo 2 - corresponde a um resumo do estado de arte, é de carácter essencialmente teórico onde se introduz o fenómeno da humidade ascensional referindo a definição de um correto diagnóstico, os fatores que a condicionam no desenvolvimento e as técnicas mais comuns de tratamento existentes, realizando em cada caso a descrição das metodologias de aplicação.
- Capítulo 3 - este capítulo corresponde igualmente a um resumo do estado de arte sendo de carácter essencialmente teórico onde se introduz-se os materiais de mudança de fase

referindo a sua definição, aplicação e as várias técnicas de incorporação de PCM em elementos construtivos;

- Capítulo 4 - apresenta a campanha experimental realizada, introduz-se a descrição dos materiais utilizados bem como do método de ensaio utilizado para a determinação do coeficiente de absorção por capilaridade. Apresentam-se os resultados obtidos na campanha experimental e desenvolve-se uma análise crítica dos resultados;
- Capítulo 5 - apresenta um carácter teórico onde é explicitado o funcionamento do programa de cálculo utilizado, WUFI 2D, e a sequência de todos os passos para proceder a simulações em materiais de construção e respetivas configurações estudadas. Apresentam-se estudos sobre a absorção capilar com e sem materiais de mudança de fase aplicados, desenvolve-se uma análise crítica dos resultados com base num conhecimento teórico e empírico, analisa-se a influência dos materiais de mudança de fase nos elementos construtivos na vertente de humidade ascensional;
- Capítulo 6 - resume as principais conclusões do trabalho elaborado e expõe-se possíveis perspetivas de desenvolvimento futuro para dar uma continuidade ao estudo apresentado nesta dissertação.

1.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

A primeira fase deste trabalho consiste na pesquisa e análise cuidada da bibliografia sobre humidade ascensional e materiais de mudança de fase em seguida e de forma a atingir os objetivos a que se propõe este estudo será realizada uma campanha experimental e uma análise no programa de cálculo WUFI 2D, posteriormente procede-se às respetivas análises de resultados e conclusões. Na figura seguinte (Fig.1.1.), encontra-se uma síntese esquemática da metodologia do trabalho a desenvolver.

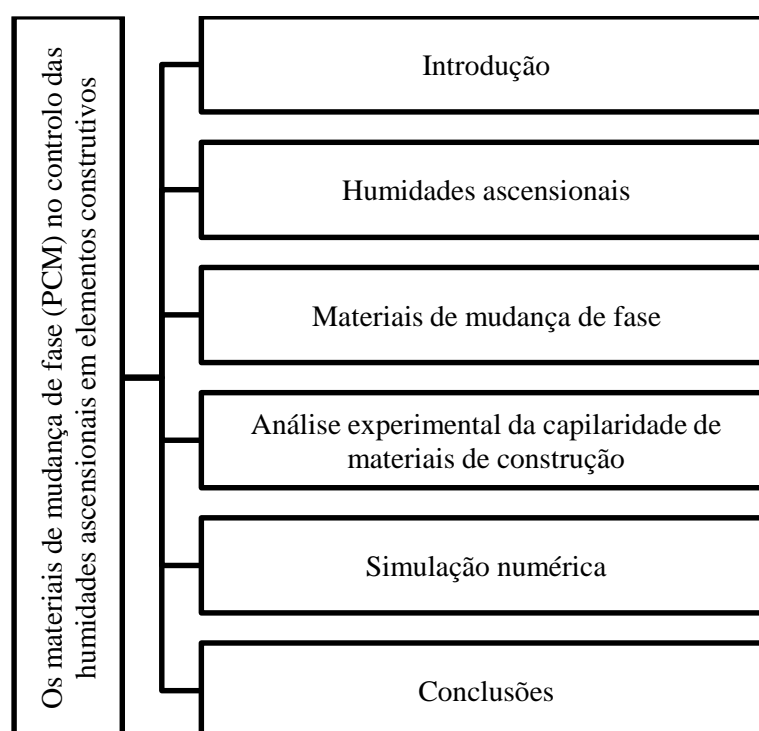


Fig.1.1. – Síntese esquemática da metodologia de trabalho

2

HUMIDADE ASCENSIONAL

2.1. INTRODUÇÃO

Uma das principais causas de anomalias e defeitos na construção é a humidade, para controlar e combatê-la é necessário diagnosticar e proceder ao seu tratamento com base em conhecimento teórico e empírico. Para diagnosticar essas irregularidades deve-se conhecer os mecanismos envolvidos, o processo de construção, as condições ambientais e o comportamento dos materiais. Desta forma, no tratamento é necessário identificar o processo de infiltração nos materiais de construção e a origem. As humidades com uma ocorrência mais frequente em edifícios são: humidade de condensação; humidade de precipitação; humidade resultante de causas imprevistas; humidade resultante de mecanismos de higroscopicidade; humidade ascensional (âmbito deste estudo) [1,3,4].

A água procedente do solo pode migrar por capilaridade, através de materiais porosos [5] e desta forma comprometer o desempenho de paredes e pavimentos. Quando em contacto com o solo húmido os materiais e elementos de construção ficam sujeitos a fenómenos de capilaridade (ascensão de um líquido através dos capilares de um sólido). Os materiais e elementos de construção correntes possuem na generalidade elevada capilaridade por possuírem uma estrutura porosa levando a que a ocorra migração de água, por ascensão capilar, se não existir nada que impeça esse fluxo [5]. A humidade ascensional pode revelar-se por diversas formas tendo em conta a sua origem a partir de águas freáticas ou águas superficiais [1], tal como comprovado na figura seguinte (Fig.2.1.).

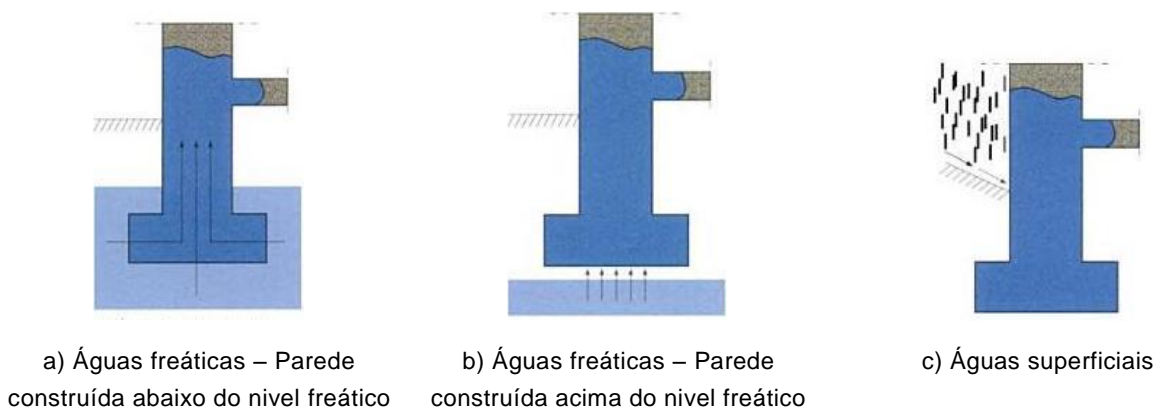


Fig.2.1. – Diferentes processos da humificação por águas freáticas e superficiais [1]

A humidade ascensional de origem na água de freática pode surgir de duas formas, uma quando o nível freático se encontra acima dos elementos construtivos, a outra forma quando o nível freático se localiza abaixo dos elementos construtivos mas estes apresentam elevada capilaridade. Este tipo de origem está ativo todo o ano pelo que as manifestações de humidade ascensional revelam-se ao longo do ano mais estáveis. A altura da frente húmida é menor na face exterior do que na interior uma vez que as condições de evaporação são menos favoráveis na face interior do que na face exterior [1]. Por outro lado a humidade ascensional de origem na água superficial pode surgir devido ao escorrer de água sobre os elementos construtivos, nomeadamente a parede, pela pendente do terreno se esta se encontrar voltada para a parede. A altura da frente húmida é variável ao longo do ano e atinge uma maior altura nas paredes exteriores.

2.2. FATORES QUE CONDICIONAM AS HUMIDADES ASCENSIONAIS

A progressão e a infiltração de humidade são influenciadas pela migração de água por capilaridade (ação de embebição pelo material de construção de água em contato). O fenómeno de capilaridade não é o único que promove a absorção de água, em materiais porosos dá-se também fenómenos de higroscopicidade e condensação. A altura que a água, num dado material de construção, atinge é reflexo do equilíbrio entre a absorvida por capilaridade e a água que se evapora.

A altura atingida pela frente húmida depende das condições climáticas do meio, da presença de sais, da espessura dos elementos construtivos, da natureza dos materiais de revestimento e da porometria e porosidade dos materiais.

Um das principais causas que influenciam a altura da frente húmida atingida na parede são as circunstâncias climáticas. Em situações em que exista presença de ar seco, facilita-se a evaporação, logo altura da mancha de humidade tende a ser menor. Por outro lado em meios climáticos onde o ar contém elevada humidade relativa, a evaporação é mais difícil de ocorrer pelo que potencializa a elevação da mancha de humidade (Fig.2.2.).

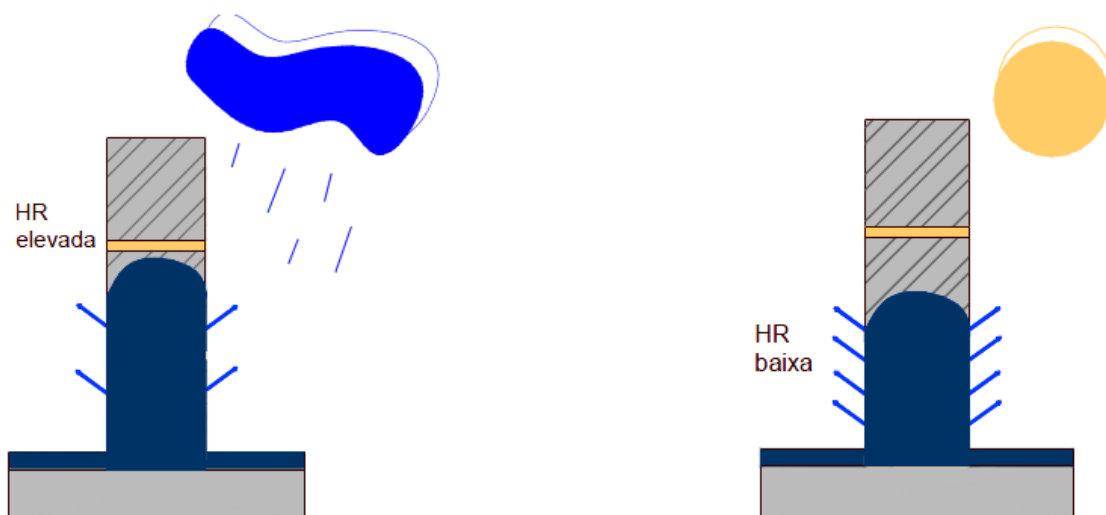


Fig.2.2. – Progressão da humidade por influência das condições climáticas [5]

Uma maior ventilação e insolação despontam a evaporação contribuindo para um decréscimo da humidade ascensional pelo que a orientação geográfica tem um carácter relevante pois provoca variações de humidade ascensional segundo uma maior ou menor ventilação e insolação (Fig.2.3.).

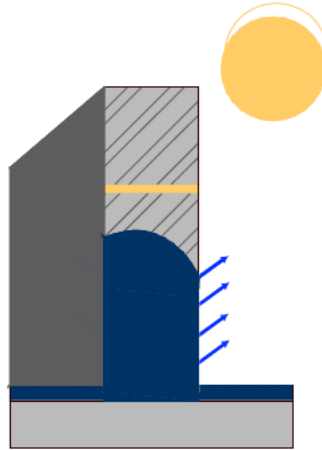


Fig.2.3. – Progressão da humidade por influência da orientação e insolação [5]

Outro fator que influencia a altura atingida pela humidade nos elementos construtivos é a existência de sais nos materiais de construção e no solo, uma vez que ao serem dissolvidos pela água são elevados para posições superiores. Ao afetar, as faces das paredes, a água pode evaporar-se levando à cristalização de sais, no local. Se a cristalização ocorrer sob revestimento origina criptoflorescências e se a cristalização se der à superfície dá origem a eflorescências (Fig.2.4.). Este mecanismo induz o contínuo preenchimento dos poros e por conseguinte uma diminuição da permeabilidade dos materiais, levando a que a evaporação seja mais difícil de ocorrer, conduzindo a um incremento do nível alcançado pela ascensão por capilaridade. Conforme a humidade relativa do ar aumenta ou diminui é potencializada a degradação das estruturas quer por cristalização quer por dissolução [1].

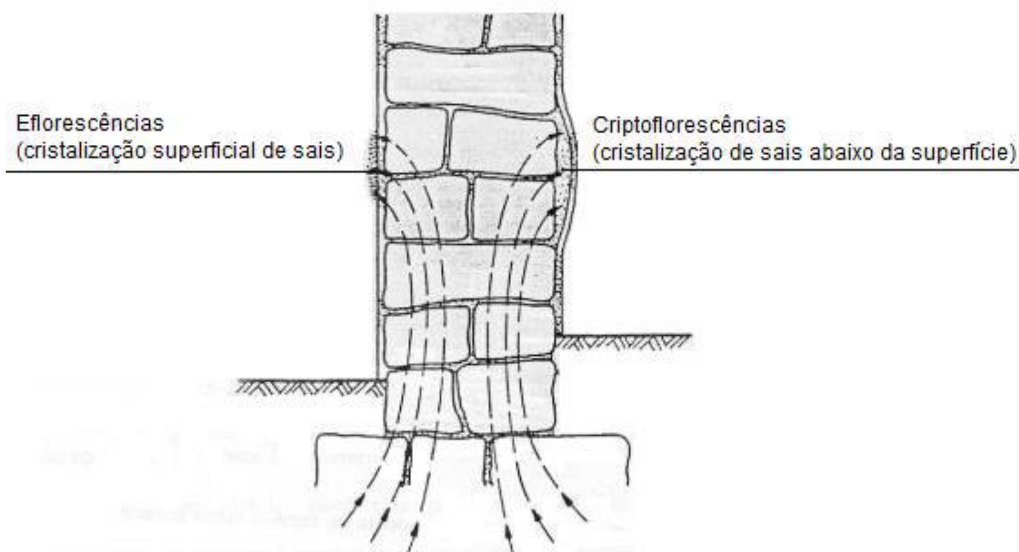


Fig.2.4. – Formação de eflorescências e de criptoflorescências [6]

Um espaço tubular fino, localizado nas partes sólidas de um material de construção e por onde a água possa entrar denomina-se por poro. A porosidade do material é o quociente entre o volume total de vazios e o volume total aparente. Todos os materiais de construção apresentam poros sendo que estes estão distinguidos segundo a sua importância, disposição e natureza. Verificam-se dois padrões de porosidade: a porosidade aberta e a porosidade fechada (Fig.2.5.). A porosidade aberta permite a transferência de água pelo material, uma vez que proporciona a relação entre os poros por recurso a tubos capilares definindo o material permeável. Já a porosidade fechada, conceito aplicado aos materiais impermeáveis, não permite a troca de água entre poros uma vez que estes não comunicam entre si por tubos capilares [1].

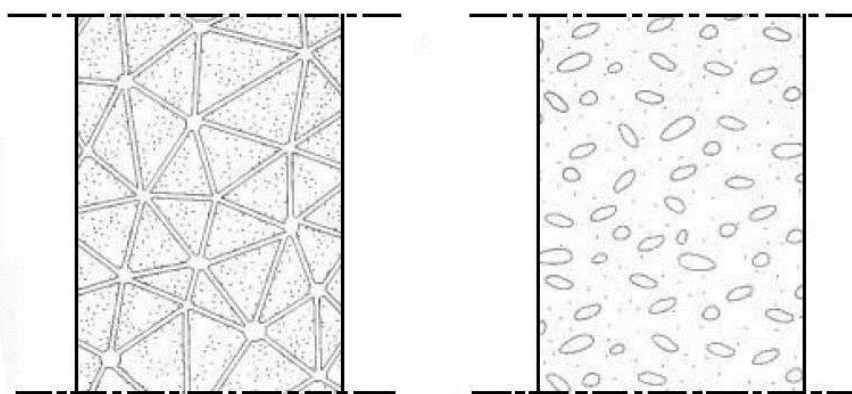


Fig.2.5. – Representação de um material com porosidade aberta (à esquerda) e fechada (à direita) [1]

As condições de evaporação aumentam com a diminuição da espessura dos elementos construtivos e com o aumento da permeabilidade dos materiais, uma vez que será mais difícil atingir o equilíbrio da absorção com a evaporação, isto é, a quantidade de água à saída tem que ser aproximadamente igual à quantidade de água à entrada.

2.3. DIAGNÓSTICO DE HUMIDADES ASCENSIONAIS

Conjunto de ações organizadas e interrelacionadas com o objetivo de compreender e explicar uma patologia, pela visualização de manifestações e pela concretização de um exame detalhado [7]. Um bom diagnóstico condiciona a eleição de um tratamento adequado para obter eficácia na solução. Deve-se perceber quais os meios e os mecanismos que provocam o surgimento de anomalias, como estas se relacionam e a que dão origem.

Inicialmente será preciso averiguar todos os detalhes disponíveis sobre a construção, descrição e registo de manifestações ao longo do tempo, tratamentos que possam ter sido realizados e os resultados a que se chegou. Estudando todos os detalhes procede-se a exclusão de diagnósticos para por fim chegar ao fundamento do problema.

A absorção da água da chuva, infiltrações acidentais e a ascensão capilar são as principais hipóteses quando se verifica a existência, na base da parede, de humidade. O surgimento de manchas de humidade na base da parede demonstra, geralmente, a presença de humidade no solo [4].

Para todas a hipóteses deve-se examinar a distribuição de humidade nas paredes dos edifícios de forma a afirmar o diagnóstico. Contudo no caso de infiltrações acidentais é necessário averiguar o estado das condutas de transporte de água e as condições de drenagem do próprio edifício.

No caso de absorção de água superficial as patologias surgem geralmente numa parte da edificação e a frente húmida atinge alturas diferentes ao longo do ano, no verão com menos presença de manchas de humidade e no inverno torna-se mais gravoso e visível a sua presença, a água superficial irá ser absorvida em locais específicos do solo, podendo levar ou não ao aparecimento de humidades nas fundações dos edifícios ou apenas nas paredes ao nível do solo. Geralmente, no caso de ascensão capilar as manchas de humidade nas paredes estarão visíveis em todas as faces do edifício.

As manchas de humidade podem ser contínuas ou descontínuas se existirem diferentes alturas de fundação, diferentes orientações de ventilação e insolação, diferentes materiais na sua constituição e ainda se tiverem espessuras diferentes.

A altura da frente húmida é sensivelmente constante ao longo do tempo sendo essa, para Portugal devido à insolação, superior nas faces expostas a norte e noroeste e menor nas faces expostas a sul, mas geralmente constante ao longo da espessura.

A existência de manchas de bolor, vegetação, eflorescências ou criptoflorescências constituem também um forte indicador da presença deste tipo de humidade bem como a visualização de construções próximas com a mesma natureza de materiais e do mesmo período.

2.4. TÉCNICAS DE TRATAMENTO

As técnicas de tratamento e controlo de humidades ascensionais foram surgindo e evoluindo ao longo do tempo, apresenta-se as principais técnicas.

2.4.1. INSERÇÃO DE TUBOS DE AREJAMENTO

Os tubos de arejamento são ocupados com ar seco e ao serem embutidos, esse ar é permutado por ar húmido existente nas paredes visto que o ar seco é mais leve que o ar húmido. Desta forma existe um método contínuo de conduzir para o exterior, o ar húmido, ventilando e reduzindo os fenómenos da absorção capilar. É um processo frequentemente usado e económico mas contudo não é muito eficaz pelo fato de a água conter sais que podem cristalizar definindo uma barreira e pelas diferenças de temperaturas presentes entre o exterior e o interior além de ser necessário proceder a alterações arquitetónicas (Fig.2.6.) [1,8,9].

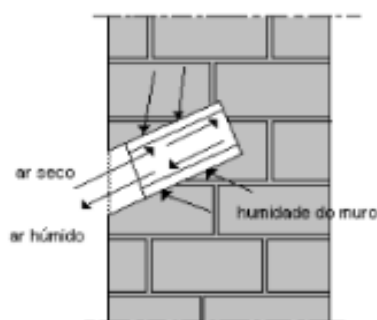


Fig.2.6. – Inserção de tubos de arejamento [1]

2.4.2. SISTEMAS ELETRO-OSMÓTICOS

Diferenças de potencial elétrico entre a parede e o solo surgem devido a fenómenos causados pela ascensão de água por capilaridade. Os sistemas eletro-osmóticos para inverter ou terminar a ascensão de água vão definir um potencial elétrico oposto ao potencial capilar. Na parede introduz-se um grupo de sondas condutoras que irão funcionar como um ânodo ligadas a uma tomada de terra que atua como cátodo. Existem várias práticas de aplicação, embora com reduzida eficiência tais como: eletro-osmose passiva (a), eletro-osmose semi-passiva (b), eletro-osmose ativa (c) e eletro-osmose forese (d) (Fig.2.7.) [1,8,9,].

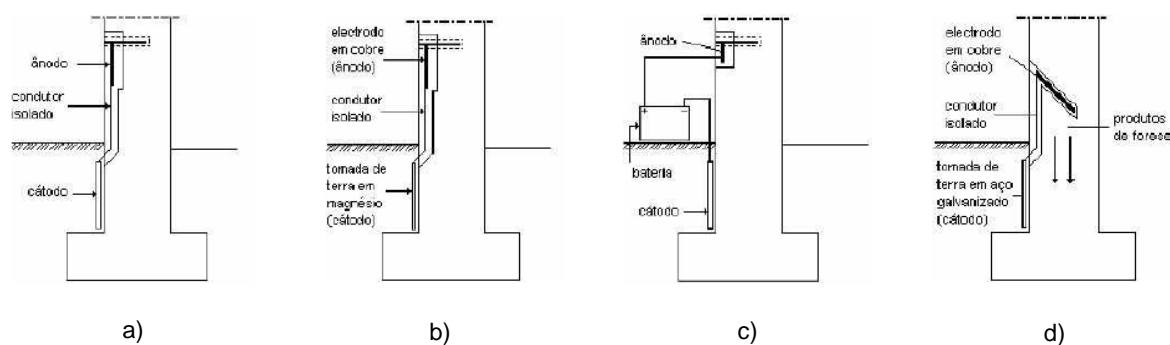


Fig.2.7. – Sistemas electro-osmóticos [1]

2.4.3. OCULTAÇÃO DE ANOMALIAS

É possível tratar a problemática da humidade ascensional mas sem a eliminar definitivamente, apenas ocultando-a. Esta abordagem pode ser realizada de duas formas distintas: a aplicação de revestimento com porosidade e porometria controlada e a aplicação de forra interior separada por espaço de ar.

A colocação de materiais porosos pelo exterior facilita a evaporação à superfície dos elementos de construção. Um dos exemplos mais comuns é a realização de reboco, com características distintas, em subcamadas, desta forma a porosidade diminui do interior (esquerda) para o exterior (direita) (Fig.2.8.). A opção por esta solução pode levar ao aparecimento de eflorescências e não pode ser aplicada às paredes que não sejam rebocadas [1,5,6].

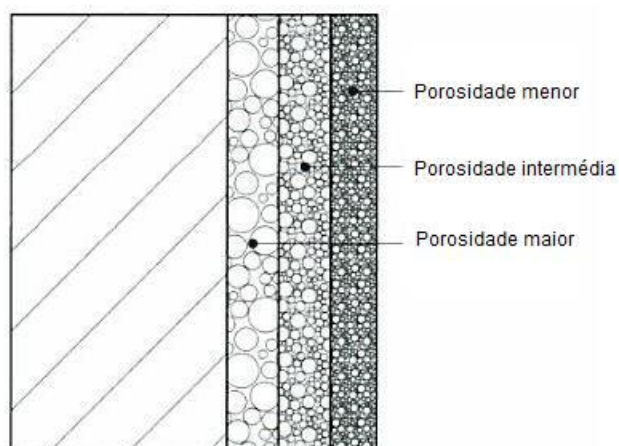


Fig.2.8. – Aplicação de revestimentos com porosidade e porometria controlada [1]

Já a outra solução, compreende a execução de uma parede nova pelo interior, sem qualquer contacto entre as duas. Esta deve estar afastada 5 a 10 cm da originária, ter menor espessura possível e implementar uma base impermeável (membrana betuminosa) para a parede (Fig.2.9.). A ventilação, no caso de existir espaço de ar ventilado, deve ser orientada para o exterior de forma a permitir a circulação de ar, por orifícios localizados a nível superior e inferior.

Este método possui desvantagens na sua utilização que são: a redução da área útil, a mudança da aparência interior da parede e a necessidade de ventilar para aumentar da eficiência (nem sempre possível de se executar) [1,5,6].

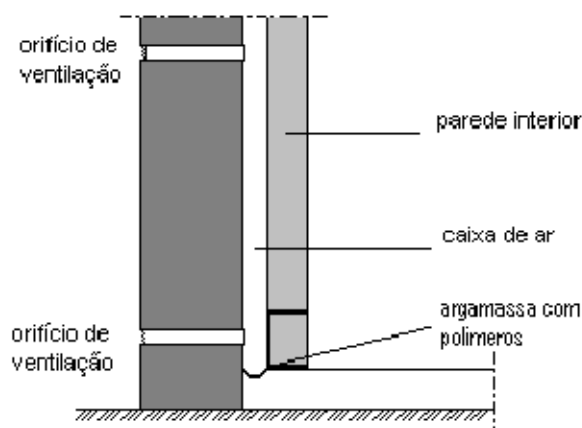


Fig.2.9. – Execução de uma parede interior com associação da impermeabilização da base desta [1]

2.4.4. EXECUÇÃO DO CORTE HÍDRICO

Esta técnica de tratamento de humidades ascensionais é utilizada quando a origem de alimentação é o nível freático. Defende a introdução de barreiras contínuas, químicas ou físicas, de maneira a impossibilitar a ascensão da água.

Se por um lado a inserção de barreiras químicas pode ser efetuada por difusão ou injeção (Fig.2.10.), a inserção de barreiras físicas realiza-se, a título de exemplo, de distintos modos: realização de cortes na parede em pequenas frações que vão sendo preenchidas com materiais estanques e substituição de alguns elementos da construção de alvenaria original por materiais impermeáveis betuminosos (Fig.2.11.) [1, 8, 9]

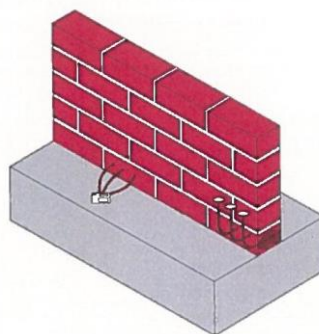


Fig.2.10. – Concretização de barreiras químicas: injeção e difusão [9]

O corte hídrico varia em função do produto empregado, da técnica de utilização e da porosidade dos materiais de construção a tratar, contudo, apresenta uma eficiência satisfatória na resposta ao tratamento da humidade ascensional. As desvantagens associadas as barreiras químicas são a necessidade de exigir a continuidade da barreira em toda a espessura da parede, o que para paredes espessas e heterogêneas, é complicado de executar (caso de edificações antigas). As barreiras físicas apresentam um custo elevado são de difícil aplicação na construção e quando sujeitas vibrações podem tornar-se instáveis [1, 8, 9].

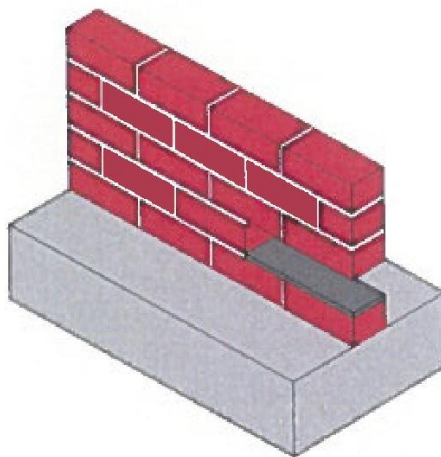


Fig.2.11. – Concretização de barreiras físicas: substituição parcial de elementos de construção [9]

2.4.5. VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES

A técnica de ventilação da base das paredes pretende tratar paredes de grande heterogeneidade de composição e de espessura considerável, com o propósito de se amplificar a evaporação podem executar-se canais periféricos ventilados. Preferencialmente este método de tratamento deve ser usado quando a cota do nível freático se situa abaixo da cota da fundação da parede [1]. A principal vantagem dos canais exteriores é o facto de proporcionarem a secagem da parede, estes deverão ter inferiormente uma caleira para escoamento das águas pluviais e devem ser superiormente ventilados e protegidos. À profundidade a que os canais são instalados estes são condicionados pelas exigências de estabilidade estrutural. Para ventilação natural os sistemas devem satisfazer os seguintes parâmetros:

- Definir meticulosamente o percurso de maneira a conseguir a ventilação pela ação do vento ou pelo efeito de chaminé;
- Colocar malhas no canal para assegurar a ventilação, de preferência preservada da entrada de águas pluviais;
- Remover o revestimento exterior da parede de forma a ajudar a evaporação.

O sistema, interiormente, é composto normalmente por canais de betão perfurados associados a um mecanismo de ventilação mecânica higrorregulável [10]. Na figura (Fig.2.12.) foi apresentado o princípio de ação de um sistema de ventilação da base de paredes.

Em relação a um sistema de ventilação natural, o sistema higrorregulável recorre a um motor de variável velocidade, este retira maiores quantidades de humidade do interior dos edifícios e evita assim a ocorrência de condensações. A execução deste permite gerar melhores condições para que a

evaporação ocorra e por conseguinte a secagem das paredes, especialmente quando relacionado a um sistema de ventilação exterior [10].

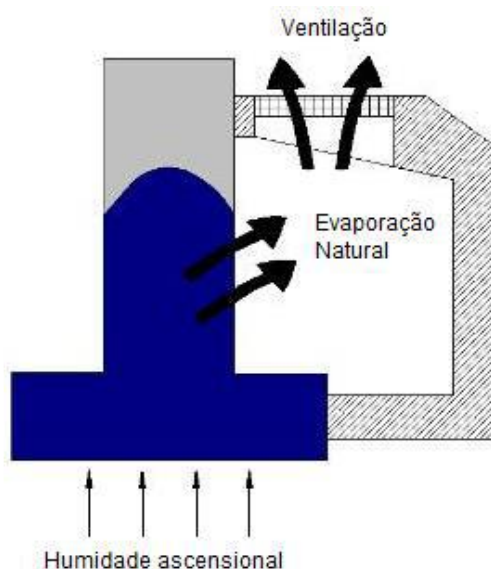


Fig.2.12. – Sistema de ventilação da base das paredes [9]

2.4.6. REDUÇÃO DA SEÇÃO ABSORVENTE

Apesar de não ser muito frequente atualmente, a técnica de tratamento de humidade ascensional por redução da seção absorvente tem um curioso fundamento.

Koch [4, 11] desenvolveu este método para a resolução dos problemas de humidade ascensional na Igreja de S. Luís dos Franceses em Roma, na base da parede afeta realizou-se uma sucessão de arcos sustentados em colunas, nas quais os materiais de origem foram substituídos por pedra impermeável [6].

Este método é pouco utilizado, por ser de difícil emprego em edifícios com paredes muito espessas e também por razões de carácter estrutural e arquitetónico. O procedimento desta técnica consiste na redução da seção absorvente, por substituição de parte da alvenaria por espaços de ar, resultando na redução da migração de humidade por ascensão capilar e aumento da evaporação (Fig.2.13.).

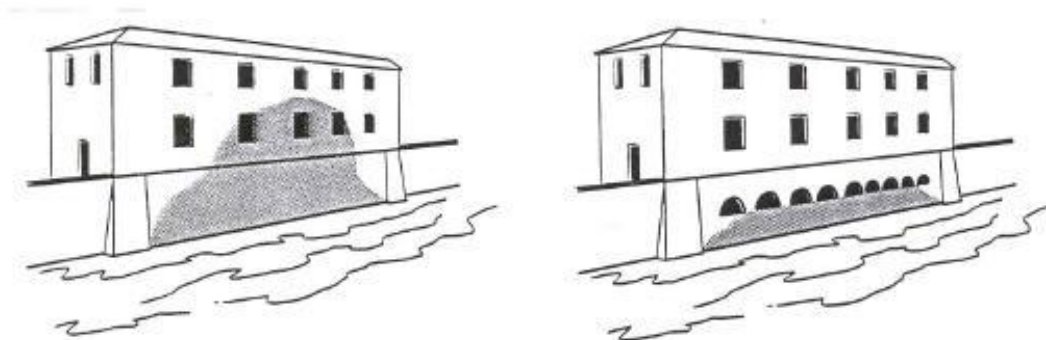


Fig.2.13. – Redução da seção absorvente [1]

2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Em suma, neste subcapítulo apresentou-se o fenómeno da humidade ascensional, expondo as manifestações de humidade ascensional, foram tratados os fatores que a condicionam e por fim descreveu-se e explicou-se as diversas técnicas de tratamento da humidade ascensional.

É relevante mencionar a necessidade de analisar o tipo de patologia, em causa, minuciosamente para decidir o tratamento a usar adequadamente, visto que cada um atua de uma forma distinta e destina-se a diferentes de necessidades de tratamento.

Para melhor perceber as diferentes etapas a percorrer na aplicação de uma metodologia de tratamento cujo objetivo é a resolução do problema da humidade ascensional encontram-se esquematizadas na figura seguinte (Fig.2.14.) esse encadeamento.

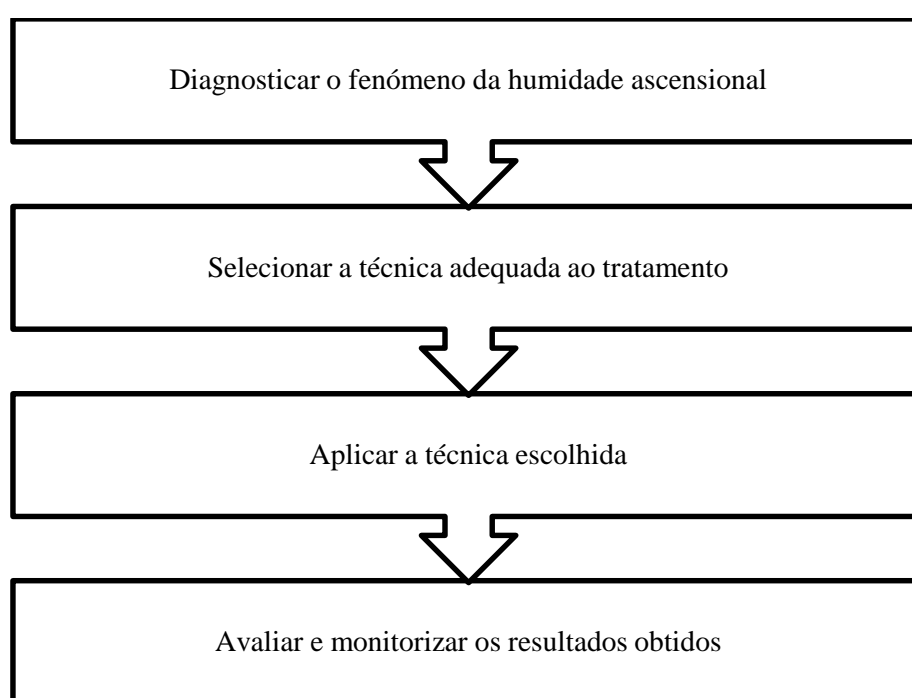


Fig.2.14. – Etapas com vista à redução ou eliminação da humidade ascensional

3

MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE

3.1. INTRODUÇÃO

Os “Phase Change Materials” conhecidos como PCM [12], em português, materiais de mudança de fase têm sido utilizados para o armazenamento de energia na qualidade de calor latente, esta forma de armazenamento é um sistema de retenção de energia eficiente e confirmado.

Os materiais de mudança de fase podem ser definidos como materiais com capacidade para alterar o seu estado físico num intervalo de temperaturas definido, libertando ou absorvendo energia do meio circundante. No decorrer deste processo de modificação do estado, a temperatura do PCM mantém-se praticamente constante. Quando a transição de fase encontra-se concretizada o aquecimento e arrefecimento cíclico resulta no aumento ou diminuição da temperatura gradualmente, sendo definido pelo calor sensível contudo a cada um dos processos da mudança do estado está associado uma quantidade de energia, designado por calor latente ou simplesmente entalpia

É esta elevada capacidade de armazenamento de energia de calor latente, a um volume e uma temperatura constantes que lhes concedem uma imparcialidade em relação a outros materiais utilizados na construção de edifícios, para o conforto térmico.

A indústria tem vindo cada vez mais a responder à procura de materiais com baixos valores de condutibilidade térmica, atualmente existem no mercado vastas soluções de isolamento térmico, os processos construtivos também foram alterados pela inovação social e tecnológica assim como as soluções estruturais.

O uso do PCM abrange vastas e distintas áreas como: a indústria automóvel, a indústria têxtil, a indústria da construção entre outros âmbitos.

Pretende-se com este subcapítulo fazer uma introdução aos conceitos e definições mais importantes relacionados com os materiais de mudança de fase, assim como, serão apresentadas as suas várias propriedades, os processos de introdução dos PCM na construção e ainda formas de utilização às edificações. Contudo a utilização de PCM ao longo deste trabalho não será tanto a nível térmico, algo que já se encontra estudado mas a nível de novas potencialidades como o possível controlo de humidades ascensionais.

3.2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Os vínculos químicos dos materiais de mudança de fase partem quando a temperatura sobe passando do estado sólido ao estado líquido. A reação química resultante é endotérmica (o material absorve o calor fornecido). O PCM regressa ao estado sólido quando a temperatura volta a descer libertando o calor armazenado para o meio. Desta forma promove-se a estabilização da temperatura interior alcançada pela ação do PCM.

Os materiais de mudança de fase devem conseguir uma transição reversível, garantir pequenas variações no volume e absorver um elevado calor latente, durante a modificação da fase. Todos os materiais possuem um calor latente associado a cada mudança de fase, mas nem todos são adequados para a aplicação em edifícios. A temperatura de fusão, temperatura a que ocorre a mudança de fase é outra característica relevante, pois esta deve ser a adequada às condições de uso do espaço e às condições climáticas da envolvente da edificação.

Os materiais correntemente aplicados na construção possuem propriedades que lhes conferem maior ou menor capacidade de armazenamento de calor por outro lado os materiais de mudança de fase distinguem-se dos anteriores pela sua elevada capacidade de armazenamento de calor.

É importante salientar alguns conceitos e definições para melhor o compreender, serão abordados tais como: condutibilidade térmica; calor específico; calor específico volumétrico; difusibilidade térmica; fase; entalpia.

A condutibilidade térmica [13] representada pelo símbolo λ , em W/(m.K) é a quantidade calor que atravessa, por unidade de tempo, uma superfície de área unitária, para uma diferença unitária de temperatura entre essa superfície e outra situada a uma distância unitária.

Surge o conceito de calor específico [13] representado pela letra c_p , em J/(kg.K), é a quantidade necessária para aumentar de uma unidade de temperatura uma unidade de massa de um corpo (a pressão constante), sendo que uma outra propriedade diretamente relacionada é o calor específico volumétrico representado por C , este avalia a capacidade de um material armazenar energia e é resultante do produto da massa volúmica pelo calor específico do material.

Por outro lado a difusibilidade térmica expressa em (m²/s), representada pela sigla α_T , relaciona a condutibilidade térmica e o calor específico volumétrico ($\alpha_T = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$). A difusibilidade térmica representa uma medida da capacidade de um material conduzir energia térmica em relação à capacidade de o armazenar, ou por outras palavras, expressa a velocidade a que um corpo se ajusta por inteiro à temperatura que o envolve. Quanto maior for α_T mais rapidamente respondem a alterações térmicas no espaço (como é o caso dos metais), enquanto em sentido inverso, materiais com α_T inferiores responderão lentamente, dependendo de mais tempo para atingirem uma nova situação de equilíbrio.

Procede-se a uma comparação entre os materiais de mudança de fase disponíveis no mercado e materiais de construção correntes, comprovada no seguinte quadro (Quadro 3.1.). Utilizaram-se o PCM RT24 e o PCM SP24E, na campanha experimental e na análise numérica. A temperatura de fusão deve-se ao facto de se encontrarem dentro da gama de temperatura de conforto 20°C a 25°C, para edifícios habitacionais.

Quadro 3.1. – Valores de condutibilidade térmica, massa volumétrica, calor específico, e calor específico volumétrico de alguns materiais de construção [15-18]

Material	Condutibilidade térmica (λ) [W/(m.K)]	Massa volumétrica (ρ) [kg/m ³]	Calor específico (c_p) [kJ/(kg.K)]	Calor específico volumétrico ($\rho \cdot c_p$) [kJ/(m ³ .K)]
Água (T=10°C)	0,600	1000	4.181	4181
Ar (T=20°C)	0,025	1,230	1,012	1,245
Betão normal	1,650	2000-2300	0,880	1760-2024
	2,000	2300-2600	1,040	2392-2704
Cerâmica (telhas, tijolos, ladrilhos)	0,600	1400-1600	0,840	1176-1344
Argamassa (rebocos tradicionais)	1,300	1800-2000	1,000	1800-2000
	1,800	>2000	1,046	>2092
Metais (aço)	50,00	7800	0,450-0,512	3510-3994
Madeira (madeiras densas)	0,230	750,0-820,0	1,500-2,500	1125-2050
Pedras calcárias	1,400	1800-1990	0,810	1458-1612
Granito	2,800	2500-2700	0,790	1975-2133
Vidro (vidro de quartzo)	1,400	2200	0,840	1848
PCM RT24 (orgânico)	0,2	880 (sólido a 15°C)	2	1760
PCM SP24E (inorgânico)	0,6	1500 (sólido a 15°C)	2	3000

A capacidade de armazenamento de calor ($\rho \cdot c_p$) e de devolução ao meio desse calor, definida pela difusibilidade térmica são propriedades inerentes dos materiais. A mudança de temperatura, a existência da água ou a alteração do estado físico alteram as propriedades dos materiais.

Habitualmente a diminuição da temperatura contribui para a diminuição do calor específico (c_p) e o aumento do valor da condutibilidade térmica (λ). A temperatura a que se dá a modificação da fase é outra propriedade elementar dos PCM usados na construção, esta deve acontecer no intervalo de temperatura de utilização dos edifícios ao contrário do previsto para componentes e materiais das edificações.

O conceito de fase define-se como a quantidade de matéria na sua totalidade homogénea. Em cada fase as partículas podem existir a várias temperaturas e pressões, ou usando em vários estados a nomenclatura da termodinâmica.

Prevalecem formas distintas de estado para a fase, o estado sólido, líquido ou gasoso. No estado gasoso o material apresenta fraca coesão molecular pelo que não tem uma forma atribuída, não é concreto. O estado sólido é caracterizado pela forte ligação entre moléculas conferindo mais estabilidade e forma à matéria. O estado intermédio é o estado líquido (Fig.2.15.).

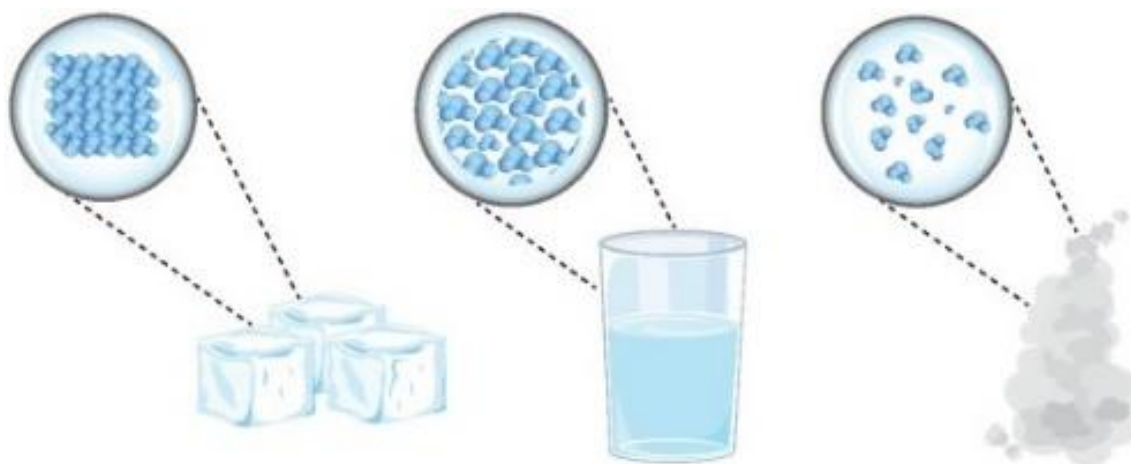


Fig.3.1. – Estados físicos da água (da esquerda para direita: sólido, líquido, gasoso) [19]

Exemplificando com uma substância simples, a água, para melhor entender estes conceitos. Se a água líquida (estado líquido) é aquecida evapora (estado gasoso) e arrefecida solidifica (estado sólido).

Uma massa de gelo com pressão e temperatura conhecidas quando é exposta a calor, a uma constante pressão, o volume específico aumenta ligeiramente e a temperatura aumenta também até atingir 0°C, nesta altura o gelo começa a fundir enquanto a temperatura conserva-se a 0°C. Neste ponto, designado por ponto de fusão, todo o calor fornecido é aproveitado para se realizar a passagem do estado sólido para líquido.

A energia (ou quantidade total de calor) necessária para se dar a fusão total do gelo em água é cerca de 334 kJ/kg [16]. Enquanto todo o gelo estiver liquefeito uma transferência adicional de calor provoca um aumento da temperatura do líquido, contudo isto verifica-se até aos 100°C (temperatura de ebulição) sensivelmente, altura em que se dá a passagem do estado líquido para o gasoso).

A quantidade total de calor (ou energia) cedida à água a 0°C (temperatura de fusão) só será devolvida após a redução da temperatura, na mudança de estado da água para gelo (reação exotérmica).

Na figura seguinte (Fig.3.2.) apresenta-se o diagrama de fases da água, tornando desta forma mais fácil a interpretação e sintetização da mudança de estados.

Representa a quantidade total de calor utilizado pela água para aumentar a sua temperatura, permite visualizar a existência de uma grande diferença de patamares de energia associada às modificações da fase. À quantidade total de energia resultante da mudança de fase atribui-se o nome de entalpia de mudança de fase” ou simplesmente “entalpia”, representa pela letra H (J/kg).

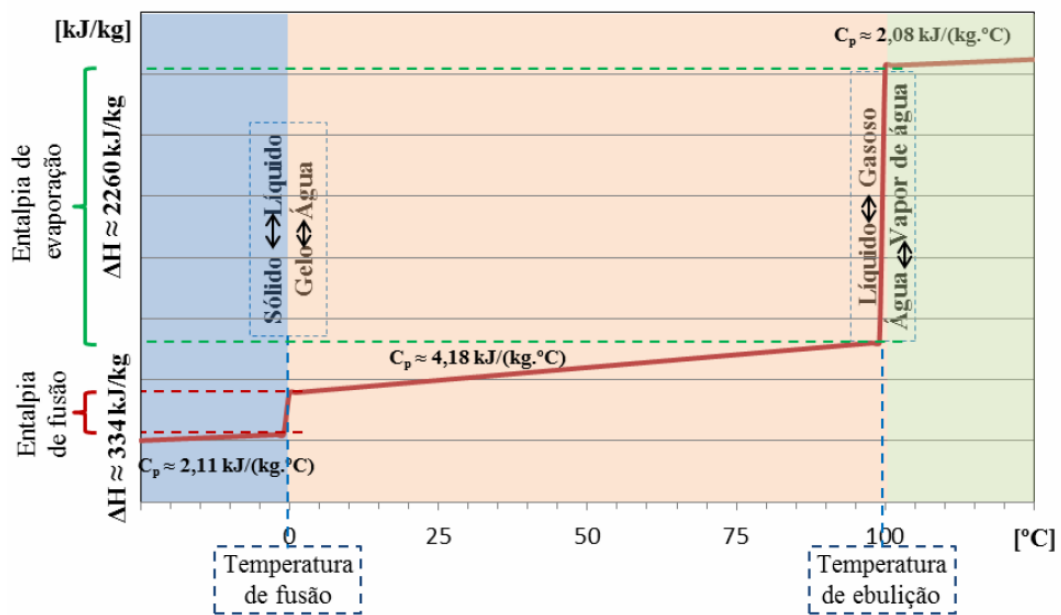


Fig.3.2. – Diagrama de fases da água [20]

A quantidade de calor utilizado para se dar a fusão do gelo em água é sensivelmente igual à quantidade de energia indispensável para se aumentar a temperatura da água de 1°C para 80°C. A quantidade de calor associada ao calor específico do material (c_p) e a quantidade de calor associada à mudança de fase distinguem-se por calor sensível e calor latente, respetivamente. Nas edificações os materiais de mudança de fase são definidos pela passagem entre a fase sólida e a líquida. Associados, na fusão, a uma reação química endotérmica (passagem de sólido a líquido), e na solidificação, reação química exotérmica (passagem de líquido a sólido).

3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PCM E SUAS PROPRIEDADES, CLASSES E CATEGORIAS

Os materiais de mudança de fase ajustam-se ao conjunto de materiais associados ao calor latente, calor resultante durante as mudanças de estado, por outro lado os materiais de construção correntes enquadram-se no conjunto de materiais afetos ao calor sensível, resultante da disparidade e da divergência entre as temperaturas interiores e exteriores e a estabilização da temperatura no interior dos edifícios.

A. Abhat, no ano de 1983, classificou os materiais até então utilizados no armazenamento de energia térmica, a categorização dos PCM está ilustrada no esquema da figura seguinte (Fig.3.3).

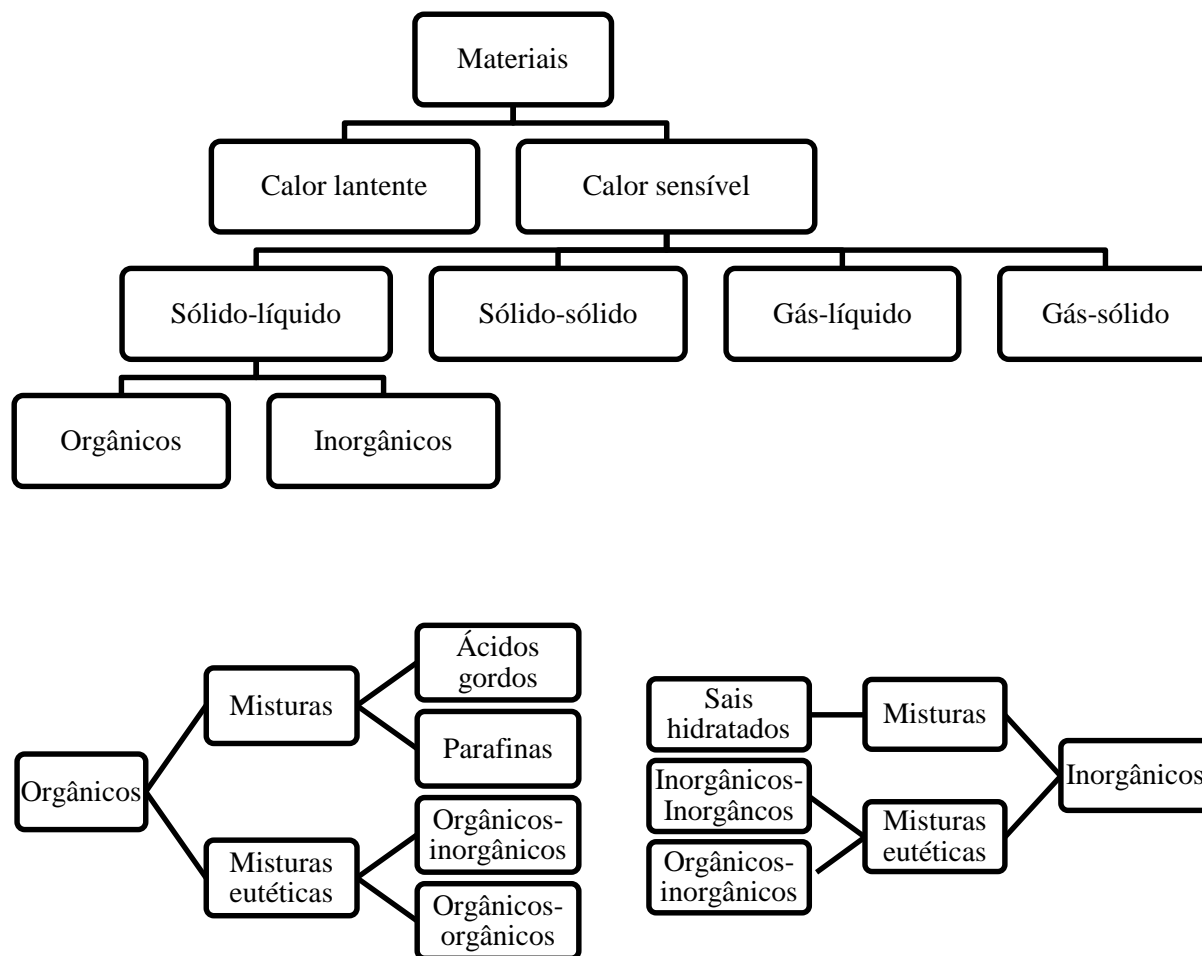


Fig.3.3. – Categorização dos PCM (gráfico adaptado de Abhat [21])

Os materiais reconhecidos com transição de calor entre os estados sólido-líquido e entre este e o sólido, são estes materiais que se aplicam à utilização na construção.

Os materiais de mudança de fase aplicados à edificação podem ser classificados em duas categorias diferentes: orgânicos e inorgânicos, sendo que estes podem ser misturas eutéticas e conjuntos de misturas entre as quais: sais hidratados, ácidos gordos ou parafinas.

Os materiais de mudança de fase orgânicos são parafinas e não parafinas, estes também podem ser apresentados como materiais constituídos hidrogénio e por carbono. Os PCM orgânicos não são corrosivos nem tóxicos, nem enfrentam problemas de sobreaquecimento, consideram-se estáveis quimicamente [22].

Embora possuam uma temperatura de fusão bem definida, as misturas eutéticas têm uma aplicação recente e apresentam ainda pouca informação disponível sobre as propriedades térmicas e físicas. As misturas eutéticas encontram-se em três grupos: inorgânicos-inorgânicos, orgânicos-inorgânicos e orgânicos-orgânicos. As misturas eutéticas classificam-se como compostos de dois ou mais materiais de mudança de fase que solidificam e fundem compativelmente sem ocorrer segregação [23].

Os materiais de mudança de fase inorgânicos, os sais hidratados são uma combinação de água e de sais, estes permitem que a libertação de calor armazenado decorra de uma forma mais célere, uma vez que possuem uma condutibilidade térmica (λ) mais elevada na ordem de 0,5 [W/(m.k)].

Os sais hidratados sofrem sobreaquecimento e são corrosivos (como se irá constatar no decorrer da campanha experimental) contudo são económicos e não inflamáveis.

A figura seguinte (Fig.3.4.) caracteriza a distribuição dos PCM de acordo com o intervalo de temperatura a que ocorre a transformação de sólido para líquido, temperatura de fusão e de acordo com uma gama de entalpias características.

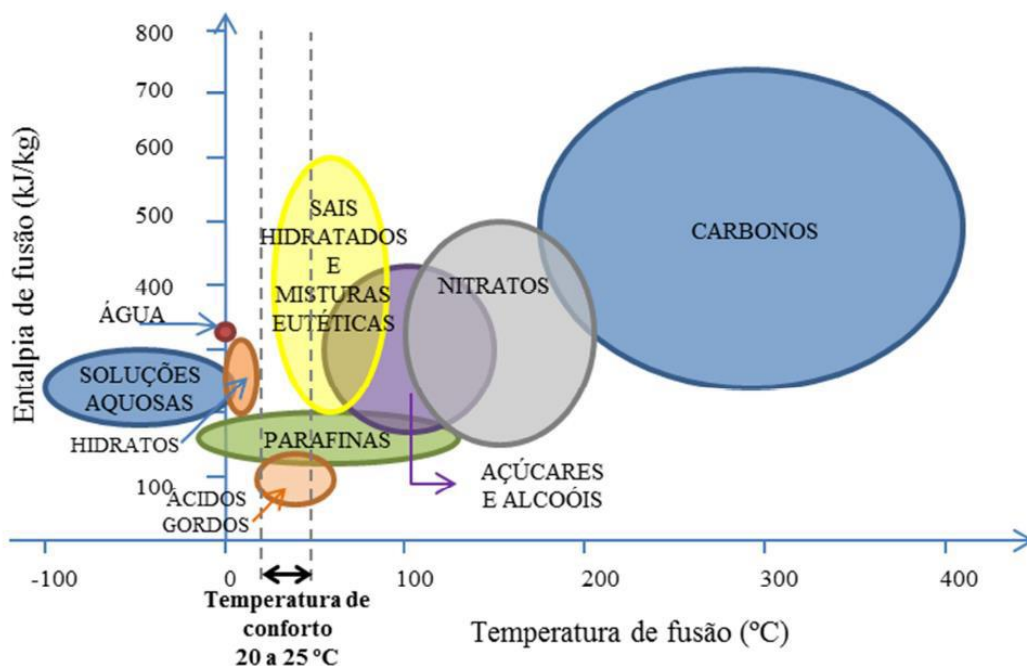


Fig.3.4. – Distribuição das diferentes categorias de PCM em função da temperatura de fusão e da entalpia [20]

Por análise da figura (Fig.3.4.) constata-se a presença de três grupos de PCM, os sais hidratados e misturas eutéticas, as parafinas e os ácidos gordos, no intervalo de temperaturas de fusão dentro da gama de conforto, 20°C a 25°C.

Este facto torna os materiais mais adequados para utilização no interior de edifícios habitacionais. Entre estes PCM são as parafinas que detêm um conjunto de características e propriedades que as tornam no material de mudança de fase mais proveitoso, face aos materiais inorgânicos e às misturas eutéticas para aplicação nos edifícios, embora sejam os sais hidratados e as misturas eutéticas que possuam uma gama de entalpias de fusão mais elevada.

Nos seguintes quadros (Quadro 3.2. / Quadro 3.3.), sumarizam-se as principais diferenças entre os três compostos em causa bem como as características necessárias à definição dos materiais de mudança de fase.

Quadro 3.2. – Vantagens e desvantagens das misturas orgânicas, inorgânicas e eutéticas [24]

	Misturas orgânicas	Misturas inorgânicas	Misturas eutéticas
Vantagens	Entalpia de fusão elevada	Baixo custo	Entalpia de fusão elevada
	Baixo ou nenhum sobrearrefecimento	Entalpia de fusão elevada	Temperatura de fusão definida com precisão (exata)
	Compatibilidade boa com outros materiais	Reduzida variação de volume	Elevada capacidade de armazenamento de calor (C é elevado)
	Estabilidade química, recicláveis	Melhor condutibilidade térmica [W/(m.K)] ($\lambda \approx 0,5$)	
	Disponíveis numa alargada gama de temperaturas de fusão		
Desvantagens	Inflamável		
	Alterações de volume	Corrosão	Falta de informação disponível
	Condutibilidade térmica baixa [W/(m.K)] ($\lambda \approx 0,2$)	Sobre arrefecimento	

Quadro 3.3. – Propriedades mais importantes na escolha dos PCM a aplicar na envolvente dos edifícios [25]

Propriedades térmicas	Propriedades físicas	Propriedades químicas	Propriedades económicas
	Variação da massa		
Entalpia elevada	volúmica (reduzida)	Estabilidade química	
Calor específico e massa volúmica elevadas	Alteração de volume na mudança de fase (reduzida)	Não tóxicos, não poluentes e não inflamáveis	
Condutibilidade térmica (nas fases sólida e líquida) elevada	Pressão de vapor durante a mudança de fase (reduzida)	Reversibilidade na passagem de sólido/líquido e de líquido/sólido	Abundante e barato
Temperatura de fusão/solidificação (próxima da temperatura de conforto)	Mudança de fase uniforme na passagem de sólido/líquido e de líquido/sólido	Duráveis - não apresentam degradação ao fim de diversos ciclos de fusão/solidificação	

Para proceder à aplicação de materiais de mudança de fase estes têm que responder a um conjunto de propriedades químicas, térmicas e físicas necessárias para o fim a que se destinam, ser económicos e que sejam compatíveis com os materiais e elementos de construção.

3.4. INCORPORAÇÃO DE PCM EM MATERIAIS OU COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO

Os PCM, materiais de mudança de fase podem ser incorporados nos materiais, elementos ou sistemas construtivos por três métodos diferentes: imersão, impregnação (ou incorporação direta) e encapsulamento [26].

As técnicas de incorporação de PCM em materiais ou componentes de construção diferenciam-se, se por um lado a imersão e a impregnação condicionam os materiais pelo contato direto com os PCM a técnica de encapsulamento impede esse contato direto.

3.4.1. IMERSÃO

Os materiais de mudança de fase podem ser incorporados em materiais ou componentes de construção pelo método da imersão direta é um procedimento usado em materiais de construção porosos como por exemplo: elementos de betão, gesso ou cerâmica.

Os materiais de construção são imersos em PCM dissolvido ou derretido que, por capilaridade, se insere nos seus poros, transformando o material num composto, pois ao secar endurece no interior da estrutura porosa dos materiais de construção. Contudo este método de imersão apresenta desvantagens, é um processo demoroso e acarreta desperdícios de materiais de mudança de fase durante a imersão e durante a atividade do material composto, devido a fugas de PCM nas fases de térmicas cíclicas [27].

3.4.2. IMPREGNAÇÃO

Os materiais de mudança de fase podem ser integrados por impregnação (ou incorporação direta) aos constituintes de misturas de certos materiais de construção como por exemplo a misturas de argamassa, betão e de gesso no estado sólido (em pó), durante a sua produção, ou líquida (soluções aquosas).

O método de impregnação é um método de fácil execução e não recorre a equipamentos suplementares para introduzir PCM nos materiais de construção mas por outro lado apresenta desvantagens, nomeadamente a incompatibilidade dos PCM com materiais de construção [24].

3.4.3. ENCAPSULAMENTO

Os materiais de mudança de fase podem ser encapsulados, recorrendo a técnicas de encapsulamento, estas técnicas despontam como forma de evitar o contacto direto dos PCM com materiais de construção, evitando assim possíveis interações entre eles, bem como a fuga do PCM em estado líquido.

Os PCM são introduzidos em micro ou em macrocápsulas, conforme o fim a que se destinam e podem ser de variados materiais mas os mais frequentes são à base de polímeros de distintos tamanhos e formas.

A vantagem principal de recorrer a técnicas de encapsulamento é de facilitar o manuseamento do PCM em estado líquido além da referida vantagem em evitar problemas de interação entre elementos.

▪ Microencapsulamento

O processo de englobar um fragmento noutro com um tamanho menor designa-se por microencapsulamento, podem ser microencapsulados materiais no estado líquido, gasoso e sólido (Fig.3.5.). Deste método advêm pequenas cápsulas com diâmetro compreendido entre 1 a 1000 μm podendo ser de paredes contínuas, esféricas, ou assimétricas, com varias formas. O filme de polímeros deve ser harmonizável com os materiais de construção e com os materiais de mudança de fase. As vantagens da aplicação dos PCM microencapsulados são: não se danificarem com a utilização corrente dada aos edifícios, a fácil aplicação e não exigirem alteração dos processos construtivos contudo as propriedades dos materiais de construção podem ser alteradas e afetadas pela introdução de PCM [28]. Este método é frequentemente aplicado a painéis de gesso cartonado.

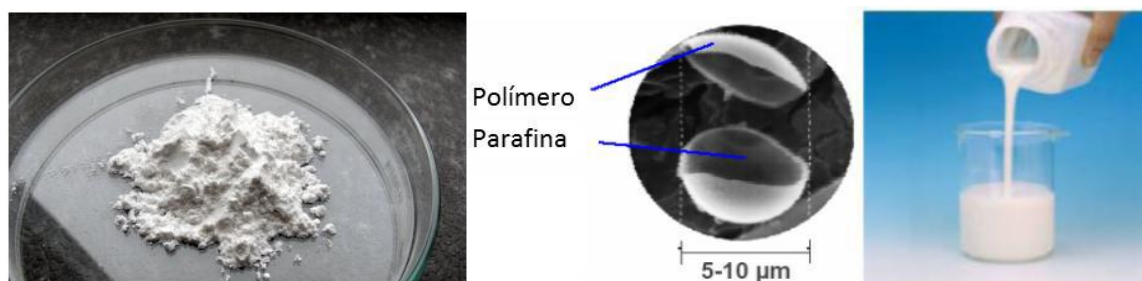


Fig.3.5. – Microcápsulas para materiais de mudança de fase (PCM) [29]

▪ Macroencapsulamento

Da mesma forma que as microcápsulas, as macros também podem ser de formas distintas como cilíndricas, esféricas, planas entre outras formas, além disso podem ser constituídas por diversos materiais como polímeros e películas de alumínio (Fig.3.6.). A macroencapsulação comporta a encapsulação de um material em compartimentos com diâmetro superior a 1 cm [30]. As macrocápsulas como são de maiores de dimensões concretizam-se separadamente e só depois é que são adicionadas aos materiais de construção. Enquanto que as microcápsulas não pressupõem alterações construtivas as macros, pelas dimensões que podem ter é necessário preparar os sistemas construtivos para recebê-las, outra preocupação é garantir a estabilidade das macrocápsulas, ilesas durante o uso da edificação.



Fig.3.6. – Macrocápsulas para materiais de mudança de fase (PCM) [31, 32]

3.5. MATERIAIS E COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO COM PCM

Existem diversas soluções construtivas onde se utilizam os materiais de mudança de fase com êxito, pelo que se apresentam de seguida exemplos dessa aplicação.

- Ladrilhos cerâmicos;
- Painéis de gesso cartonado;
- Paredes de Trombe;
- Elementos à base de betão (pavimentos e paredes);
- Blocos de betão ou tijolo;
- Envidraçados;
- Tetos falsos;
- Pavimentos radiantes.

3.5.1. LADRILHOS CERÂMICOS

Hittle [33], Cerón [34] e Gárcia [35] estudaram a aplicação de materiais de mudança de fase em ladrilhos cerâmicos.

A aplicação em ladrilhos cerâmicos de PCM é realizada com recurso à mistura de PCM microencapsulado em pó com as restantes matérias-primas substituindo de forma parcial o pó de quartzo.

Para poder ser introduzido nos ladrilhos cerâmicos o material de mudança de fase deve manter-se no estado sólido.

Os ladrilhos cerâmicos resultantes da incorporação de PCM têm um aspeto semelhante ao dos ladrilhos comuns mas apresentam uma capacidade de armazenamento de calor superior, com uma temperatura de fusão de 29°C e com uma entalpia de 130 kJ/kg [33].

3.5.2. PAINÉIS DE GESSO CARTONADO

Os painéis de gesso cartonado são aplicados na sua generalidade em paredes e tetos, o que favorece a aplicação de PCM, é uma solução construtiva com PCM bastante difundida.

As placas de gesso cartonado são consideradas económicas e eficientes em relação às usuais massas térmicas nos edifícios, para o armazenamento de energia solar.

Foram criados painéis com 20% a 30% de PCM incorporados por microencapsulamento [36] ou por imersão direta [37] com propriedades diversas e harmonizadas com o fim que se pretende.

No mercado, existem disponíveis painéis (Fig.3.7.) com uma entalpia de fusão de 22 kJ/kg e uma temperatura de fusão de 23°C, entre outros.

A solução defendida e apresentada por Scalat et al. [37] estuda a influência dos painéis de gesso cartonado para a estabilização de temperaturas interiores em uma divisão com sistemas de climatização intermitentes.

Constatou-se a capacidade de armazenamento de calor dos painéis de gesso cartonado admitindo temperaturas interiores agradáveis para o conforto térmico, após o funcionamento dos sistemas de climatização durante mais tempo.

As propriedades térmicas dos painéis de gesso cartonado com materiais de mudança de fase são semelhantes às dos próprios PCM.



Fig.3.7. – Painéis de gesso cartonado com PCM microencapsulado [29]

3.5.3. PAREDES DE TROMBE

Com a intenção de amplificar a capacidade de armazenamento de calor, soluções de materiais de mudança de fase habitualmente usadas como: sais hidratados, ácidos gordos ou parafinas são introduzidas nas paredes de Trombe, adaptando este sistema solar passivo tradicional à presença de PCM. Estes substituem eficientemente os elementos alvenaria que constituem uma parede de Trombe, visto que para uma determinada quantidade de energia armazenada, o material de mudança de fase necessita de menos espaço e é mais leve do que a parede tradicional.

Bourdeau [38] finda que uma parede com PCM de somente 8 cm de espessura tem um desempenho térmico superior a uma parede de alvenaria de 40 cm. Knowles [39] aplicou aditivos metálicos e parafina para ampliar a condutibilidade térmica e a eficiência térmica em geral de uma parede de Trombe.

Estudos desenvolvidos por Ghoneim et. al. [40], Swet [41], e Chandra [42] comprovam que uma parede de Trombe com PCM incorporados, de menor espessura, é mais eficaz do ponto de vista térmico do que uma parede de Trombe vulgar, de maior espessura e apresenta maior capacidade de armazenamento de calor.

3.5.4. ELEMENTOS À BASE DE BETÃO (PAVIMENTOS E PAREDES)

A inclusão de PCM nos pavimentos e paredes à base de betão podem ser conseguidas, quer pela mistura de materiais de mudança de fase (encapsulado ou não) nas restantes matérias-primas constituintes do betão [28, 43], quer pela imersão dos elementos de betão endurecidos em PCM liquefeito ou soluções aquosas contendo [44], como realizado no âmbito da campanha experimental.

Cabeza et al. [43] estudaram e demonstraram que a incorporação de materiais de mudança de fase microencapsulados em elementos de betão contribui para uma ligeira diminuição da resistência mecânica das paredes.

3.5.5. BLOCOS DE BETÃO OU TIJOLO

A utilização de materiais de mudança de fase em blocos de betão, cimento ou blocos cerâmicos pode ser realizada por imersão direta de materiais de mudança de fase (microencapsulado ou não), através

da incorporação de macrocápsulas com PCM e ainda por imersão dos blocos em materiais de mudança de fase no estado líquido (método realizado na campanha experimental).

A incorporação de materiais de mudança de fase, por introdução direta, em blocos de betão foi estudada por Hawes et. al. [26], findando que aumenta significativamente a capacidade de absorção de calor mas contudo surge uma problemática, os blocos de betão por serem parte constituídos por materiais de mudança de fase apresentam uma redução considerável de resistência mecânica ficando desta forma limitada a sua incorporação.

Estudos desenvolvidos por Alawadhi [45] demonstram que calor transposto para o interior dos edifícios pode ser reduzido aproximadamente em 18%, pela incorporação de macrocápsulas cilíndricas contendo materiais de mudança de fase, em blocos cerâmicos, de uma fachada em climas quentes (Fig.3.8.).

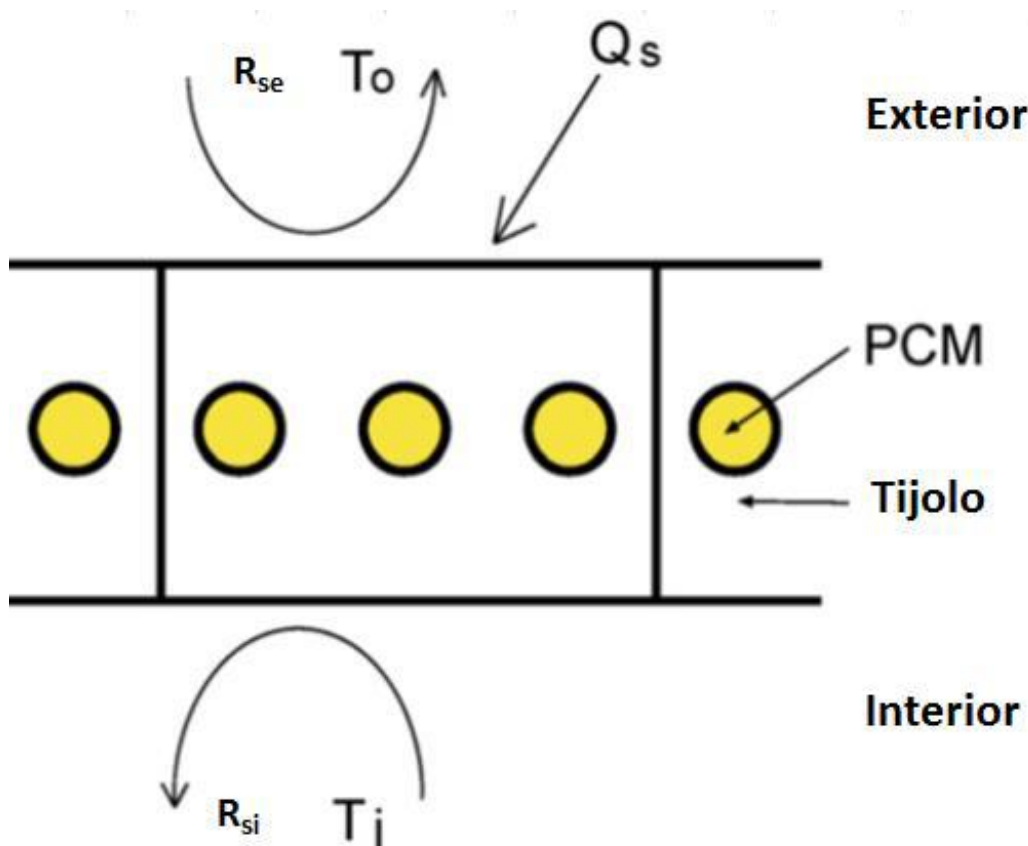


Fig.3.8. – Representação esquemática de um corte de bloco cerâmico contendo PCM macroencapsulado [20]

3.5.6. ENVIDRAÇADOS

As portadas possuindo materiais de mudança de fase são dispostas pelo exterior da circundante envidraçada das edificações.

Durante o dia elas são abertas, ficando a sua face interior exposta à radiação solar. O PCM funde e absorve o calor. À noite, quando as portadas fecham e as janelas se abrem, a face interior da portada fica em contato direto com o interior do edifício, libertando o calor acumulado.

Atualmente também de desenvolvem soluções de vidro duplo com PCM pelo interior (Fig.3.9.).

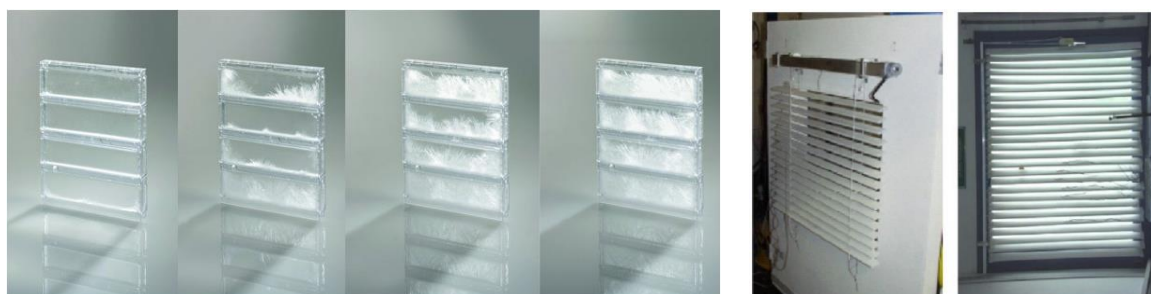


Fig.3.9. – Exemplo de envidraçados e portadas com PCM incorporado [47]

3.5.7. TETOS FALSOS

A conceção de tetos falsos contendo materiais de mudança de fase é frequentemente dinamizada para refrigerar divisões interiores, no período de estação quente, aproveitando o arrefecimento noturno (Fig.3.10.). O teto falso possui uma malha regulável que está em contacto com meio exterior. Esta malha conserva-se aberta a noite para deixar o ar frio entrar, arrefecendo a placa do teto com a temperatura do material de mudança de fase notavelmente a baixar. Durante o dia como a malha está fechada está bloqueada a entrada de calor, o ar circular através da superfície superior do teto falso onde os PCM absorvem esse calor até atingirem e manterem a temperatura de fusão.

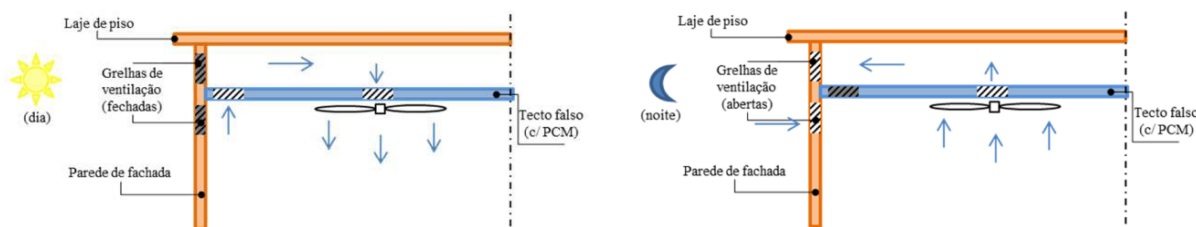


Fig.3.10. – Representações esquemáticas de tetos falsos com PCM, funcionamento diurno à esquerda; funcionamento noturno à direita [20]

3.5.8. PAVIMENTOS RADIANTES

Os pavimentos radiantes podem ver a sua utilização ser aglutinada a materiais de mudança de fase. Desta forma funcionando com o propósito de racionalizar a utilização de energia em aquecimento e limitando o fluxo de calor emitido pelo piso radiante.

O sistema de aquecimento necessitará estar ligado algumas horas por dia, apenas, sendo que o calor acumulado nos materiais de mudança de fase é libertado progressivamente pelo compartimento quando a energia é desligada. Assim sendo, o modo de funcionamento do sistema de aquecimento torna-se economicamente proveitoso, este pode funcionar durante a noite, a taxa de eletricidade é mais baixa, sendo que o calor é libertado para o interior durante o dia.

Estudos realizados por Lin et. al. [48, 49] evidenciam que a aplicação de materiais de mudança de fase em pavimentos radiantes permitem reduzir o consumo de energia com uma acomodação construtiva

simples. No pavimento radiante deve introduzir-se uma camada de isolamento térmico de modo a minimizar as perdas de calor para o meio exterior (Fig.3.11.).

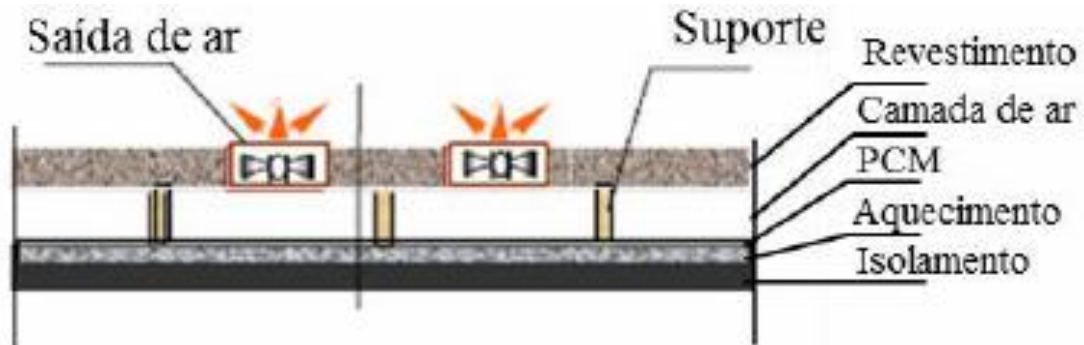


Fig.3.11. – Representação esquemática de um pavimento radiante com PCM [20]

3.6. SÍNTESE DO SUBCAPÍTULO

Neste subcapítulo, foi exposta e explicada a noção de PCM, apresentaram-se as várias classes e categorias de materiais de mudança de fase existentes, de forma esquemática.

Apresentaram-se variadas soluções construtivas onde os materiais de mudança de fase foram introduzidos com êxito e os processos usados na incorporação dos PCM em elementos e materiais utilizados na construção e ainda a aplicação que este estudo comporta.

Os PCM têm sido utilizados com o objetivo de garantir um maior conforto térmico no interior dos edifícios com menor consumo de energia.

Neste estudo vamos avaliar a possibilidade de utilizar estes materiais no controlo de humidades ascensionais. Começamos por estudar a capacidade de incorporação de PCM em materiais tradicionalmente utilizados nas fundações de edifícios e depois fazemos análise experimental e numérica do seu comportamento face à presença de água.

4

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CAPILARIDADE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

4.1. INTRODUÇÃO

As preocupações com a humidade ascensional nos elementos construtivos têm vindo a ser cada vez maiores, assim como a necessidade de conhecer o modo de prever e evitar a propagação da humidade e a consequente degradação das estruturas dos edifícios.

A absorção de água por capilaridade é um dos principais mecanismos de penetração de água através dos materiais.

De facto a maior parte das estruturas está sujeita a fenómenos de absorção de água por capilaridade ciclicamente causados pela chuva ou pela humidade do próprio solo.

A água, além de poder ser nociva à estrutura alimentando o fenómeno de corrosão, funciona também como meio de transporte de agentes agressivos, nela dissolvidos.

A absorção de água é definida como a entrada de água na rede porosa dos materiais devido a forças capilares, que resultam da diferença de pressão entre a superfície livre da água no exterior e a sua superfície nos poros capilares, sendo dependente do diâmetro capilar. Assim sendo, quanto menor for a absorção do material, mais protegida estará a estrutura.

Neste capítulo apresentam e caracterizam-se os materiais, o procedimento e o método de ensaio utilizado, descreve-se a preparação dos provetes de ensaio, e apresenta-se os resultados obtidos.

Os objetivos principais a que se propõe este estudo no âmbito da campanha experimental são:

- Observar o diferente comportamento à absorção capilar de materiais de construção correntes (betão pozolânico; betão com agregados vulcânicos; bloco acústico de betão; bloco térmico de betão);
- Avaliar a quantidade de PCM que, pela técnica de imersão, se consegue incorporar nos materiais de construção: betão pozolânico, betão com agregados vulcânicos, bloco acústico de betão e bloco térmico de betão;
- Observar o diferente comportamento de materiais de construção com e sem materiais de mudança de fase (PCM) incorporados;
- Análise dos resultados obtidos.

4.2. MATERIAIS UTILIZADOS E IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES

Durante os ensaios de laboratório foram utilizados distintos materiais de construção, a escolha destes prende-se com o facto de eles serem frequentemente utilizados na construção, estruturas e fundações dos edifícios.

Estes materiais foram cedidos pelo Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que também os estava a utilizar para estudos.

Nesta campanha experimental foram utilizados quatro materiais de construção porosos, no total 36 provetes sendo estes divididos da seguinte forma:

- 9 Provetes betão pozolânico, identificados pela letra B (Fig.4.1.);
- 9 Provetes betão com agregados vulcânicos, identificados pela letra Z (Fig.4.1.);
- 9 Provetes de bloco acústico de betão, identificados pela letra A (Fig.4.2.);
- 9 Provetes de bloco térmico de betão, identificados pela letra T (Fig.4.2.).

Dentro dos 9 provetes de cada material, 6 foram impregnados com materiais de mudança de fase, 3 com PCM SP24E e 3 com PCM RT24 (Quadro 3.1.). Os restantes 3 não sofreram nenhuma alteração:

- Os provetes numerados de 1 a 3 não possuem PCM incorporados;
- Os provetes numerados de 4 a 6 possuem PCM SP24E incorporados;
- Os provetes numerados de 7 a 9 possuem PCM RT24 incorporados.



Fig.4.1. – Provetes de betão pozolânico à esquerda e de betão com agregados vulcânicos à direita



Fig.4.2. – Provetes de bloco acústico de betão à esquerda e de bloco térmico de betão à direita

O betão pozolânico é um material que confere maior durabilidade e resistência química, é usado substantivamente em grandes empreendimentos. O betão com agregados vulcânicos é como o próprio nome aponta um material característico do ambiente vulcânico, típico do arquipélago dos Açores. O bloco acústico de betão e o bloco térmico de betão são blocos de betão com agregados que visam dotar o material de construção de uma composição adicional para obter um melhor comportamento quer a nível acústico quer a nível térmico, aumentando a sensação de conforto.

O quadro seguinte (Quadro 4.1.) apresenta as dimensões de cada um dos provetes do material de construção betão com agregados vulcânicos.

Quadro 4.1. – Dimensões dos provetes de betão pozolânico

Proвете	PCM	Altura [cm]	Largura [cm]	Comprimento [cm]	Área da base [cm ²]
B1	Sem PCM	19,0	4,8	3,5	16,8
B2	Sem PCM		5,5	3,0	16,5
B3	Sem PCM		8,4	5,5	46,2
B4	SP24E		5,4	3,5	18,9
B5	SP24E		5,5	3,7	20,4
B6	SP24E		5,5	3,7	20,4
B7	RT24		5,0	4,0	20,0
B8	RT24		5,5	4,0	22,0
B9	RT24		5,0	4,0	20,0

O quadro seguinte (Quadro 4.2.) apresenta as dimensões de cada um dos provetes do material de construção betão com agregados vulcânicos.

Quadro 4.2. – Dimensões dos provetes de betão com agregados vulcânicos

Proвете	PCM	Altura [cm]	Largura [cm]	Comprimento [cm]	Área da base [cm ²]
Z1	Sem PCM	19,0	5,5	3,7	20,4
Z2	Sem PCM		5,3	3,5	18,6
Z3	Sem PCM		5,4	3,8	20,5
Z4	SP24E		5,1	3,5	17,9
Z5	SP24E		5,5	3,3	18,2
Z6	SP24E		5,3	3,8	20,1
Z7	RT24		5,2	3,5	18,2
Z8	RT24		5,2	4,0	20,8
Z9	RT24		5,3	4,2	22,3

O quadro seguinte (Quadro 4.3.) apresenta as dimensões de cada um dos provetes do material de construção bloco acústico de betão.

Quadro 4.3. – Dimensões dos provetes de bloco acústico de betão

Provete	PCM	Altura [cm]	Largura [cm]	Comprimento [cm]	Área da base [cm ²]
A1	Sem PCM	19,0	9,2	1,8	16,6
A2	Sem PCM		8,6	1,8	15,5
A3	Sem PCM		9,0	2,0	18,0
A4	SP24E		8,6	2,5	21,5
A5	SP24E		8,3	2,4	19,9
A6	SP24E		8,5	2,2	18,7
A7	RT24		8,8	2,5	22,0
A8	RT24		9,0	2,5	22,5
A9	RT24		8,8	2,7	23,8

O quadro seguinte (Quadro 4.4.) apresenta as dimensões de cada um dos provetes do material de construção bloco térmico de betão.

Quadro 4.4. – Dimensões dos provetes de bloco térmico de betão

Provete	PCM	Altura [cm]	Largura [cm]	Comprimento [cm]	Área da base [cm ²]
T1	Sem PCM	19,0	10,5	4,4	46,2
T2	Sem PCM		8,0	4,3	34,4
T3	Sem PCM		10,3	4,5	46,4
T4	SP24E		10,0	4,7	47,0
T5	SP24E		9,7	5,0	48,5
T6	SP24E		7,9	5,0	39,5
T7	RT24		9,5	5,5	52,3
T8	RT24		9,5	5,3	50,4
T9	RT24		9,5	5,4	51,3

Verifica-se que independentemente do material de construção em questão, todos provetes de cada material apresentam a mesma altura geométrica mas variável área da base o que pode levar a limitações nos resultados obtidos.

A partir de blocos de betão maciço foi possível obter provetes prismáticos de cada tipo de material de construção, esses provetes de betão foram cortados, com auxílio de uma máquina de corte (Fig.4.3.), disponível no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

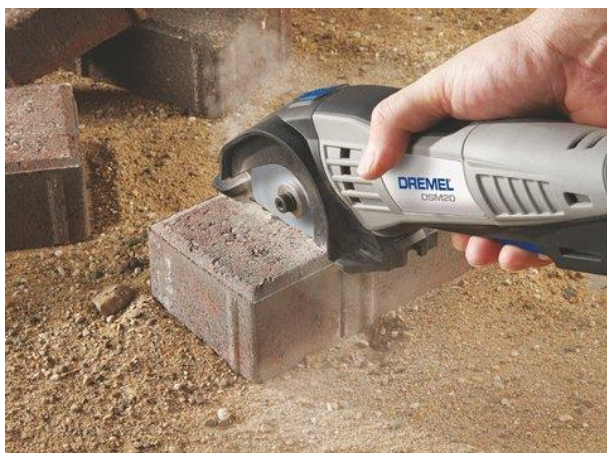


Fig.4.3. – Exemplo de máquina de corte utilizada [51]

Para o estudo dos ensaios de capilaridade, segundo a norma EN1015-18 [2], utilizaram-se três provetes prismáticos para cada tipo de análise. Embora existam implicações geométricas (Fig.4.4.), em todos os provetes considerou-se a área da base, a área em contacto com a água.

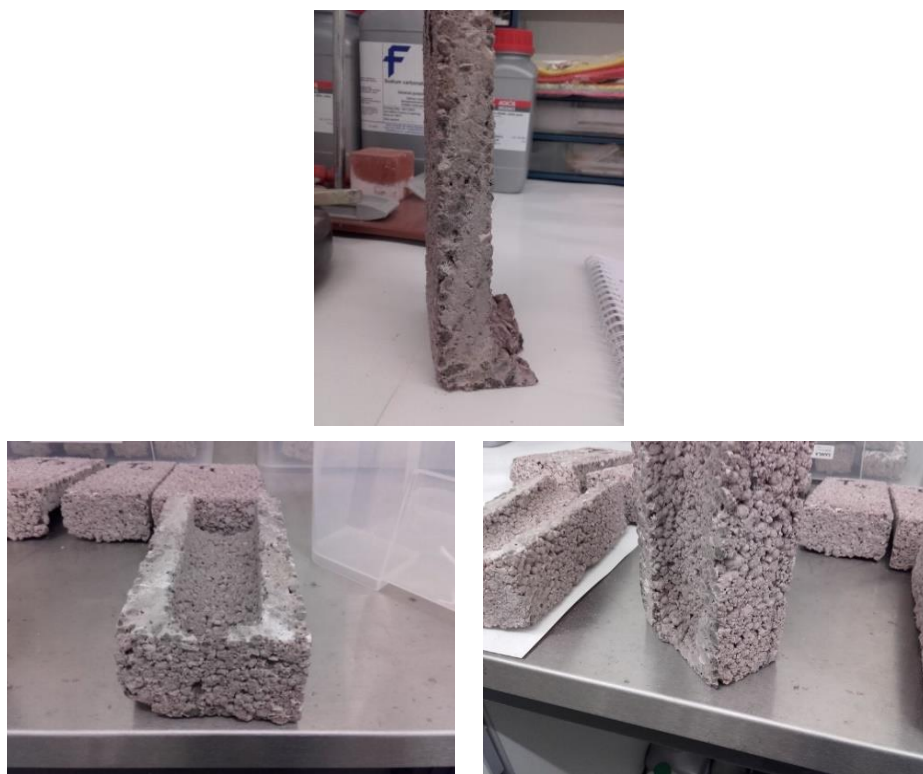


Fig.4.4. – Imperfeições geométricas

Após a identificação procedeu-se à medição e pesagem inicial de todos os provetes. Para proceder à determinação da área da base e da altura usou-se uma fita métrica (Fig.4.5.) e determinou-se as dimensões que cada elemento a fim de obter a área da base que ficará contacto com a água, valor necessário para quantificar a água absorvida por unidade de superfície (kg/m^2).



Fig.4.5. – Medição dos Provetes



Fig.4.6. – Estufa utilizada no ensaio

4.3. DETERMINAÇÃO DO PESO SECO

Com o objetivo de conhecer o seu peso seco, cada provete dos diferentes materiais de construção foi colocado na estufa à temperatura de 60°C e humidade relativa de 50% (Fig.4.6.) durante dois dias. Não houve um critério de paragem estabelecido apenas se colocaram os provetes e passado esse tempo foram retirados e pesaram-se. Os provetes que posteriormente seriam alvo de impregnação de material de mudança de fase foram os primeiros a serem colocados na estufa (Fig.4.7.) e só depois de findo o processo de secagem destes se introduziu os restantes provetes (Fig.4.8.).



Fig.4.7. – Obtenção do peso seco dos provetes a impregnar PCM



Fig.4.8. – Obtenção do peso seco dos provetes

No sentido de perceber qual a diferença entre o peso inicial e peso resultante após secagem em estufa, de cada um dos provetes dos materiais de construção, estratificou-se da seguinte forma os valores obtidos.

O quadro seguinte (Quadro 4.5.) resume a variação entre o peso inicial e a peso seco para cada um dos provetes do material de construção betão pozolânico.

Quadro 4.5. – Variação de peso dos provetes de betão pozolânico

Proвете	Peso Inicial [g]	Variação [g]	Peso Seco [g]
B1	515,819	-1,468	514,351
B2	497,709	-1,230	496,479
B3	774,247	-1,834	772,413
B4	522,457	-1,190	521,267
B5	563,876	-1,360	562,516
B6	477,388	-1,133	476,255
B7	498,582	-1,238	497,344
B8	505,922	-1,298	504,624
B9	539,434	-1,267	538,167

O quadro seguinte (Quadro 4.6.) sintetiza a diferença entre o peso inicial e o peso seco de cada um dos provetes do material de construção betão com agregados vulcânicos.

Quadro 4.6. – Variação de peso dos provetes de betão com agregados vulcânicos

Proвете	Peso Inicial [g]	Variação [g]	Peso Seco [g]
Z1	551,916	-4,213	547,703
Z2	505,127	-4,862	500,265
Z3	501,413	-3,864	497,549
Z4	488,852	-2,922	485,930
Z5	458,898	-2,700	456,198
Z6	570,933	-2,979	567,954
Z7	540,537	-2,942	537,595
Z8	537,558	-2,697	534,861
Z9	566,295	-3,434	562,861

O quadro seguinte (Quadro 4.7.) resume a variação entre o peso inicial e o peso seco para cada um dos provetes do material de construção bloco acústico de betão.

Quadro 4.7. – Variação de peso dos provetes de bloco acústico de betão

Proвете	Peso Inicial [g]	Variação [g]	Peso Seco [g]
A1	378,633	-3,197	375,436
A2	429,254	-6,074	423,180
A3	440,475	-5,396	435,079
A4	465,501	-7,044	458,457
A5	423,476	-4,535	418,941
A6	479,976	-5,512	474,464
A7	435,262	-5,478	429,784
A8	444,178	-4,038	440,140
A9	453,267	-4,627	448,640

O quadro seguinte (Quadro 4.8.) sintetiza a diferença entre o peso inicial e o peso seco para cada um dos provetes do material de construção bloco térmico de betão.

Quadro 4.8. – Variação de peso dos provetes de bloco térmico de betão

Proвете	Peso Inicial [g]	Variação [g]	Peso Seco [g]
T1	453,892	-3,185	450,707
T2	336,600	-2,483	334,117
T3	470,799	-3,030	467,769
T4	424,115	-2,815	421,300
T5	385,351	-2,759	382,592
T6	387,222	-2,641	384,581
T7	742,605	-5,270	737,335
T8	654,311	-5,548	648,763
T9	712,992	-5,510	707,482

Constata-se que todos os provetes independentemente do material de construção em causa viram o seu peso ser reduzido. Os provetes de betão pozolânico foram os que variaram menos o seu peso por outro lado os provetes de bloco acústico de betão foram os que perderam mais peso.

4.4. IMPREGNAÇÃO DE PCM NOS PROVETES

Os 6 provetes de cada material de construção foram posteriormente submersos em materiais de mudança de fase (PCM) no estado líquido. A temperatura ambiente foi mantida entre os 25°C a 27°C para garantir que os materiais de mudança de fase se encontrem no estado líquido e se incorporarem nos materiais de construção porosos.

Os provetes 4, 5 e 6 foram incorporados com PCM SP24E (Fig.4.9.) e os provetes 7, 8 e 9 foram incorporados com PCM RT24 (Fig.4.10.).



Fig.4.9. – Material de Mudança de fase SP24E



Fig.4.10. – Material de mudança de fase RT24

É extremamente importante que a impregnação seja minuciosa e bem executada para permitir uma uniformização e uma boa distribuição do PCM pelos provetes. Esta impregnação fez-se imergindo totalmente os elementos de construção destinados a esse efeito no material de mudança de fase SP24E (Fig.4.11.) e RT24 (Fig.4.12.).

Se os provetes não ficarem totalmente imersos nos materiais de mudança de fase, no estado líquido, posteriormente no decorrer da campanha experimental, essa imperfeita impregnação pode influenciar os resultados obtidos.



Fig.4.11. – Impregnação de SP24E



Fig.4.12. – Impregnação de RT24

Um dos objetivos principais foi perceber qual foi a capacidade máxima que podemos incorporar de material de mudança de fase quer o PCM SP24E quer o PCM RT24 nos diversos provetes dos distintos materiais de construção. A quantidade de PCM incorporado foi determinada após a estabilização do peso dos provetes imersos. Realizaram-se sucessivas pesagens até à estabilização do peso, quando esta acontece, avalia-se a quantidade de PCM incorporada. A estabilização do peso dos provetes ocorre uma semana após a colocação dos provetes no PCM líquido.

O gráfico representado na figura seguinte (Fig.4.13.) apresenta, para os provetes de betão pozolânico a variação do peso após ciclos de secagem em estufa. A diferença de peso representa a quantidade de PCM incorporado no provete.

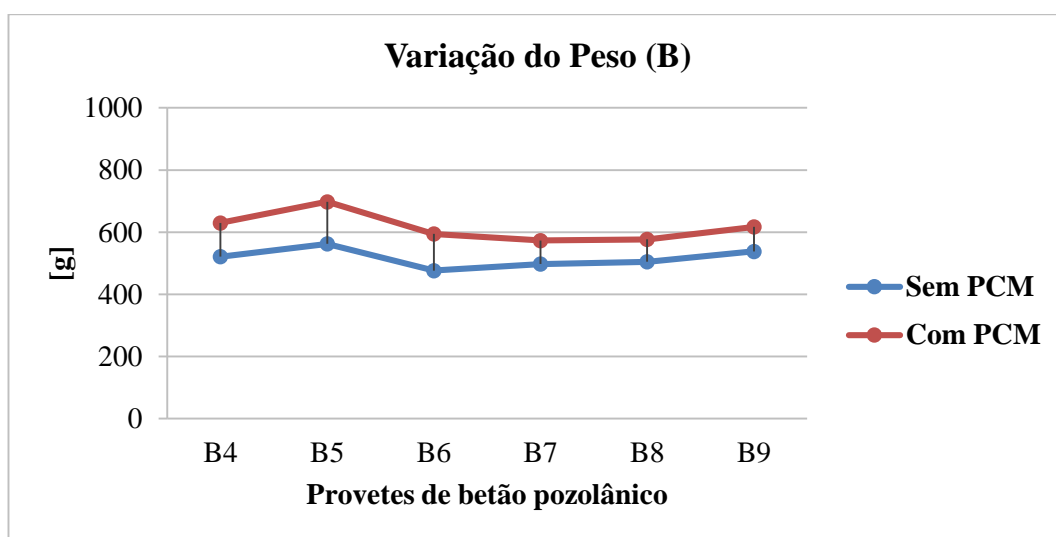


Fig.4.13. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de betão pozolânico

O quadro seguinte (Quadro 4.9.) expõe para os provetes de betão pozolânico, o peso seco determinado após permanência em estufa, o peso obtido após estabilização, resultante da impregnação de materiais de mudança de fase e avalia a relação entre pesagens.

Quadro 4.9. – Influencia dos PCM nos provetes de betão pozolânico

Provetes	PCM	Peso Seco [g]	Peso com PCM [g]	Variação [g]	Acréscimo [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]
B4	SP24E	521,267	629,697	108,43	20,80	23,19	2,10
B5	SP24E	562,516	697,637	135,121	24,02		
B6	SP24E	476,255	594,077	117,822	24,74		
B7	RT24	497,344	573,260	75,916	15,26	14,73	0,50
B8	RT24	504,624	576,656	72,032	14,27		
B9	RT24	538,167	617,081	78,914	14,66		

O gráfico representado na figura seguinte (Fig.4.14.) apresenta, para os provetes de betão com agregados vulcânicos a variação do peso após ciclos de secagem em estufa. A diferença de peso representa a quantidade de PCM incorporado no provete.

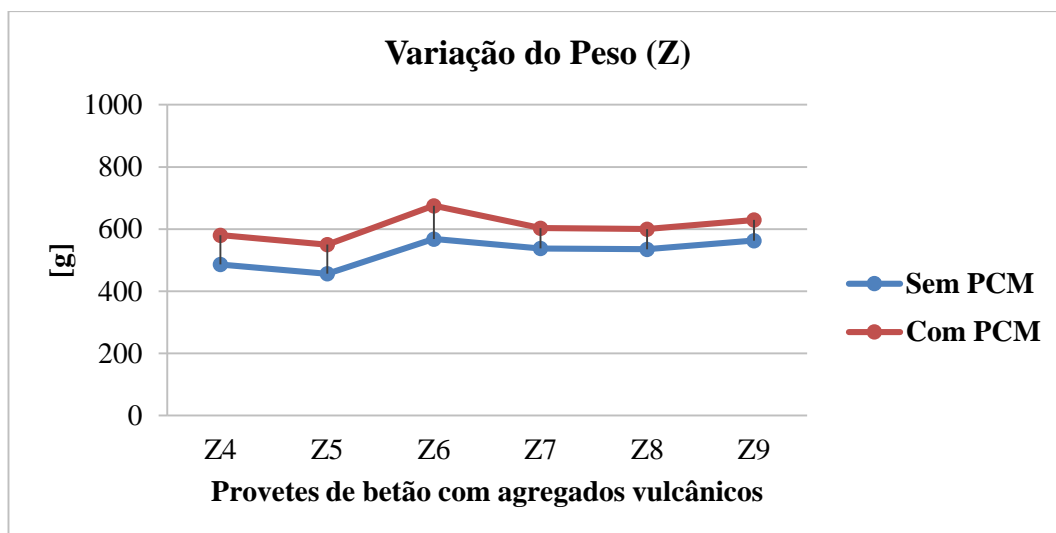


Fig.4.14. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de betão com agregados vulcânicos

O quadro seguinte (Quadro 4.10.) expõe para os provetes de betão com agregados vulcânicos, o peso seco determinado após permanência em estufa, o peso obtido após estabilização, resultante da impregnação de materiais de mudança de fase e avalia a relação entre pesagens.

Quadro 4.10. – Influência dos PCM nos provetes de betão com agregados vulcânicos

Provetes	PCM	Peso Seco [g]	Peso com PCM [g]	Variação [g]	Acréscimo [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]
Z4	SP24E	485,930	580,262	94,332	19,41	19,61	0,82
Z5	SP24E	456,198	549,800	93,602	20,52		
Z6	SP24E	567,954	675,339	107,385	18,91		
Z7	RT24	537,595	603,260	65,665	12,21	12,06	0,25
Z8	RT24	534,861	600,133	65,272	12,20		
Z9	RT24	562,861	629,125	66,264	11,77		

O gráfico representado na figura seguinte (Fig.4.15.) apresenta, para os provetes de bloco acústico de betão, a variação do peso após ciclos de secagem em estufa. A diferença de peso representa a quantidade de PCM incorporado no provete.

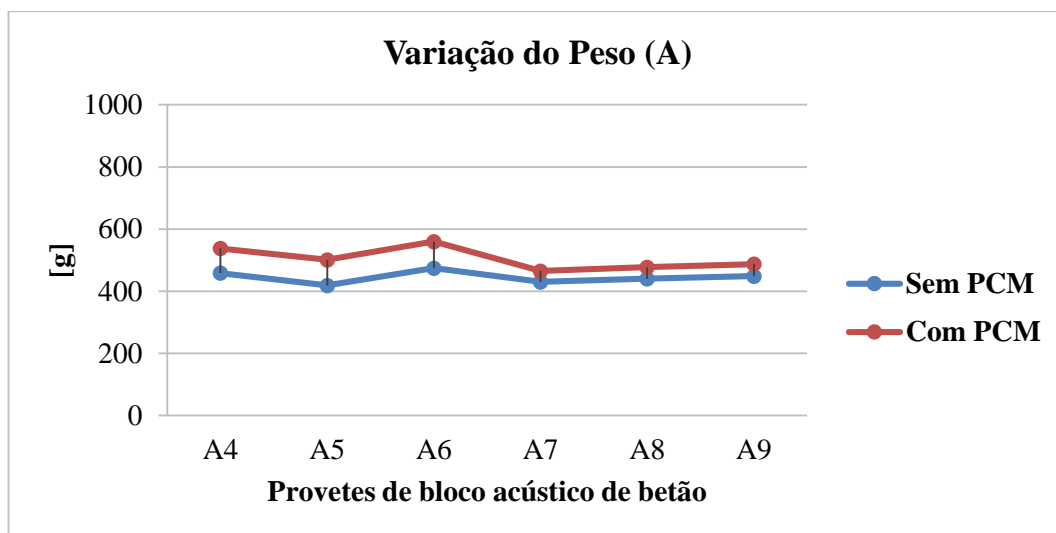


Fig.4.15. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de bloco acústico de betão

O quadro seguinte (Quadro 4.11.) expõe para os provetes de bloco acústico de betão, o peso seco determinado após permanência em estufa, o peso obtido após estabilização, resultante da impregnação de materiais de mudança de fase e avalia a relação entre pesagens.

Quadro 4.11. – Influência dos PCM nos provetes de bloco acústico de betão

Provetes	PCM	Peso Seco [g]	Peso com PCM [g]	Variação [g]	Acréscimo [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]
A4	SP24E	458,457	537,800	79,343	17,31	18,30	1,21
A5	SP24E	418,941	501,276	82,335	19,65		
A6	SP24E	474,464	559,647	85,183	17,95		
A7	RT24	429,784	465,288	35,504	8,26	8,45	0,18
A8	RT24	440,140	477,399	37,259	8,47		
A9	RT24	448,640	487,297	38,657	8,62		

O gráfico representado na figura seguinte (Fig.4.16.) apresenta, para os provetes de bloco térmico de betão, a variação do peso após ciclos de secagem em estufa. A diferença de peso representa a quantidade de PCM incorporado no provete.

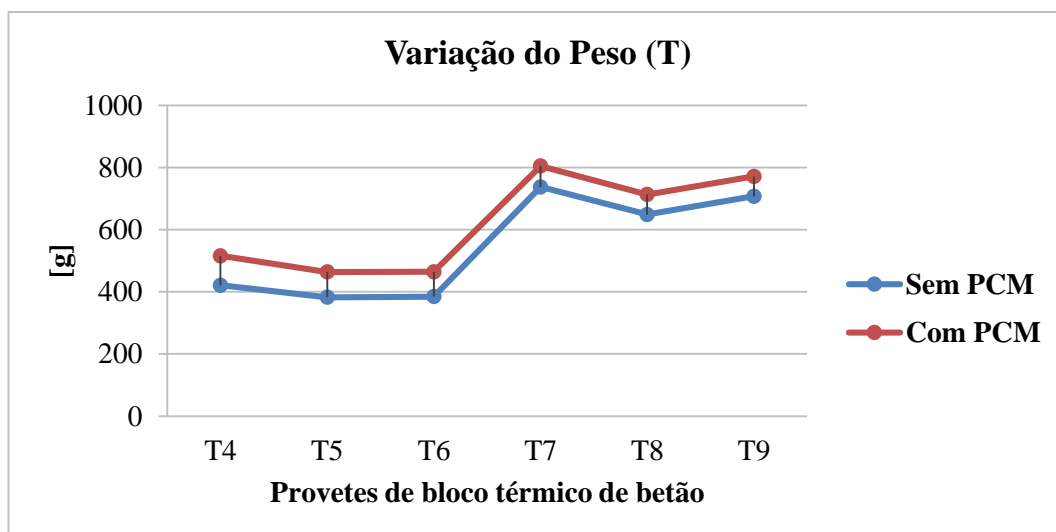


Fig.4.16. – Influência no peso resultante da impregnação de PCM nos provetes de bloco térmico de betão

O quadro seguinte (Quadro 4.12.) expõe, para os provetes de bloco térmico de betão, o peso seco determinado após permanência em estufa, o peso obtido após estabilização, resultante da impregnação de materiais de mudança de fase e avalia a relação entre pesagens.

Quadro 4.12. – Influência dos PCM nos provetes de bloco térmico de betão

Provetes	PCM	Peso Seco [g]	Peso com PCM [g]	Variação [g]	Acréscimo [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]
T4	SP24E	421,300	515,851	94,551	22,44		
T5	SP24E	382,592	463,820	81,228	21,23	21,49	0,85
T6	SP24E	384,581	464,564	79,983	20,80		
T7	RT24	737,335	804,897	67,562	9,16		
T8	RT24	648,763	713,068	64,305	9,91	9,36	0,48
T9	RT24	707,482	771,242	63,760	9,01		

Verifica-se que independentemente do material de construção poroso: betão pozolânico, betão com agregados vulcânicos, bloco acústico de betão e bloco térmico de betão, os provetes mediante a solução de materiais de mudança de fase a que foram sujeitos diferem em comportamento. Os materiais de mudança de fase SP24E são mais facilmente absorvidos, ou incorporados, nos materiais de construção estudados. Este tipo de PCM possui água na sua constituição enquanto o RT24 é uma parafina possuindo uma textura mais encorpada. Os provetes de betão pozolânico na sua generalidade incorporam mais materiais de mudança de fase e os provetes de bloco acústico de betão menos quantidade, o betão pozolânico pode ser o mais poroso dos materiais de construção e desta forma incorporar mais material de mudança de fase.

4.5. ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

4.5.1. MÉTODO DE ENSAIO

O ensaio de absorção foi executado com base no procedimento caracterizado na norma EN1015-18 [2], é um ensaio utilizado em argamassas. O ensaio teve como objetivo determinar e avaliar o coeficiente de capilaridade e capacidade de absorção dos provetes bem como observar as diferenças na ascensão capilar dos provetes dos distintos materiais de construção. O ensaio foi realizado em 36 provetes, 9 provetes de betão pozolânico, 9 provetes de betão com agregados vulcânicos, 9 provetes de bloco acústico de betão e 9 provetes de bloco térmico de betão, tendo-se utilizado 3 provetes de cada material para cada tipo solução, sem PCM, ensaio padrão, ou com PCM SP24E ou com PCM RT24. Quanto maior o número de provetes para a mesma situação maior será a confiança nos resultados obtidos e maior a sensibilidade para os ditos resultados, detetando-se possíveis erros ou discrepâncias. Inicialmente os provetes foram secos em estufa ventilada a 60°C, a fim de determinar o seu peso seco. Após a estabilização do peso dos provetes foi possível com a absorção capilar entre os vários materiais de construção com e sem PCM, observar a sua influência.

4.5.2. PERIODICIDADE DAS PESAGENS

A frequência de pesagens foi igual para todos os provetes e para todas as soluções:

- Betão pozolânico: 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 60min, hora em hora até estabilização do peso do provete;
- Betão com agregados vulcânicos: 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 60min, hora em hora até estabilização do peso do provete;
- Bloco acústico de betão: 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 60min, hora em hora até estabilização do peso do provete;
- Bloco térmico de betão: 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 60min, hora em hora até estabilização do peso do provete.

4.5.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Os ensaios de absorção capilar pressupõem as seguintes etapas:

- Medir área da base dos provetes, que ficam em contacto com a água (Fig.4.5.);
- Secar, na estufa, os vários provetes (Fig.4.6. / Fig.4.7. / Fig.4.8.);
- Quantificar o peso inicial dos provetes secos (Fig.4.17.);
- Colocar os provetes num reservatório com água de 0,5 a 1cm de altura (Fig.4.18.);
- Registar pesagens após 1min; 3min; 5min; 10min; 15min; 30min e 60min;
- Realizar pesagens de hora em hora até estabilização do peso do provete;
- Medir o coeficiente de absorção capilar e a variação de massa por unidade de área.



Fig.4.17. – Pesagem a decorrer



Fig.4.18. – Manutenção nível de água

O ensaio de absorção por capilaridade decorreu conforme é possível observar na figura seguinte (Fig.4.19.).



Fig.4.19. – Ensaio a decorrer

4.5.4. DISPOSITIVOS NECESSÁRIOS

Assim, a realização deste ensaio prevê a utilização de diversos equipamentos e materiais tais como:

- Reservatório de área plana para conter os provetes imersos;
- Medidor para manter de nível constante de água;
- Água destilada;
- Cronómetro graduado em segundos;
- Balança;
- Estufa;
- Malha para conter os provetes maximizando o contato da interface inferior do provete com a água.

4.5.5. CURVAS DE ABSORÇÃO CAPILAR

Com os resultados obtidos nas pesagens dos ensaios, obtém-se a curva de absorção capilar, que expressa a quantidade de água absorvida (M_w) por unidade de superfície (kg/m^2) pela equação 4.1.

$$M_w = \frac{M - M_0}{S} [\text{kg/m}^2] \quad (4.1)$$

M_w - quantidade de água absorvida por unidade de superfície [kg/m^2]

M - peso após absorção capilar [kg]

M_0 - peso seco [kg]

S - área da base [m^2]

4.5.5.1. Material de construção: betão pozolânico

Expõem-se os resultados obtidos na campanha experimental realizada recorrendo a provetes de betão pozolânico (Fig.4.20. / Fig.4.21. / Fig.4.22 / Fig.4.23.).

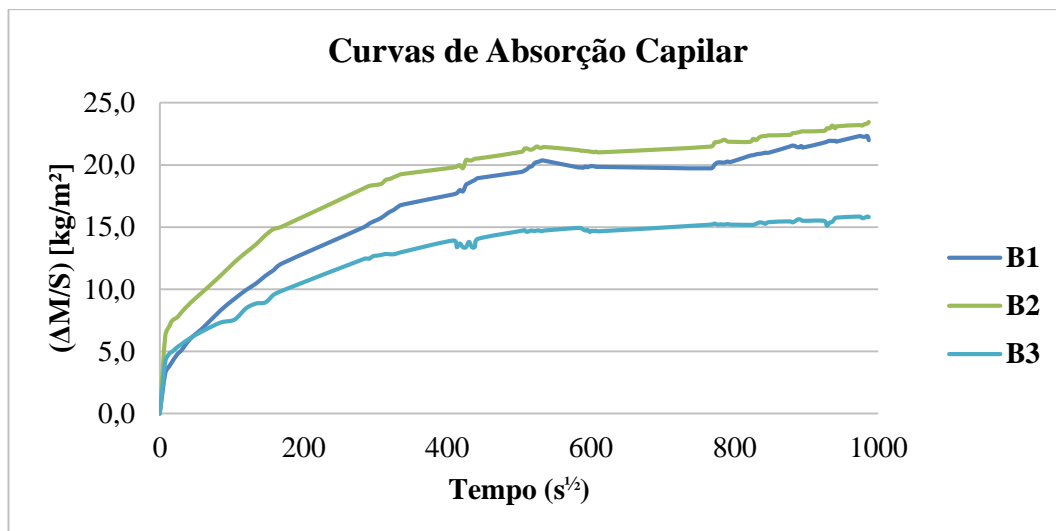


Fig.4.20. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânico e sem PCM

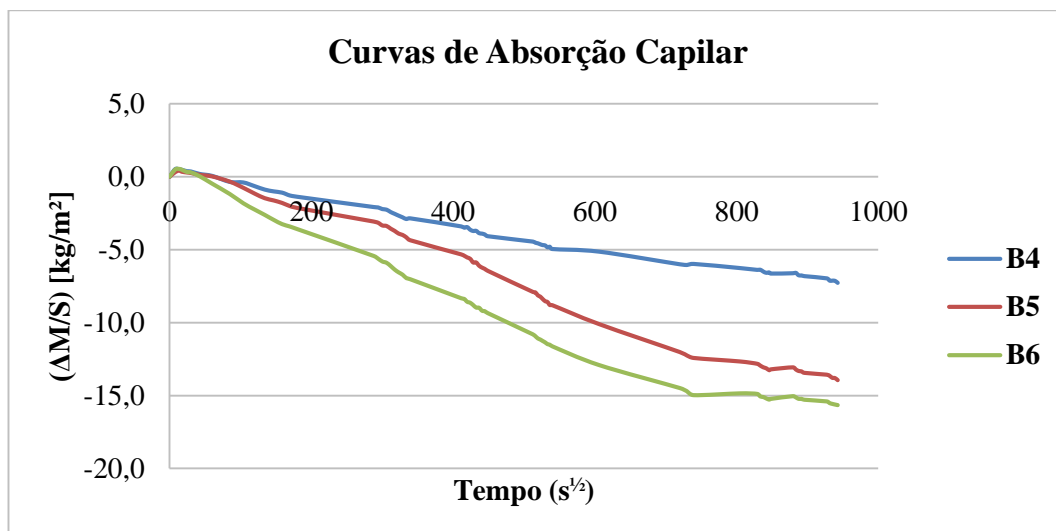


Fig.4.21. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânicos e com PCM SP24E

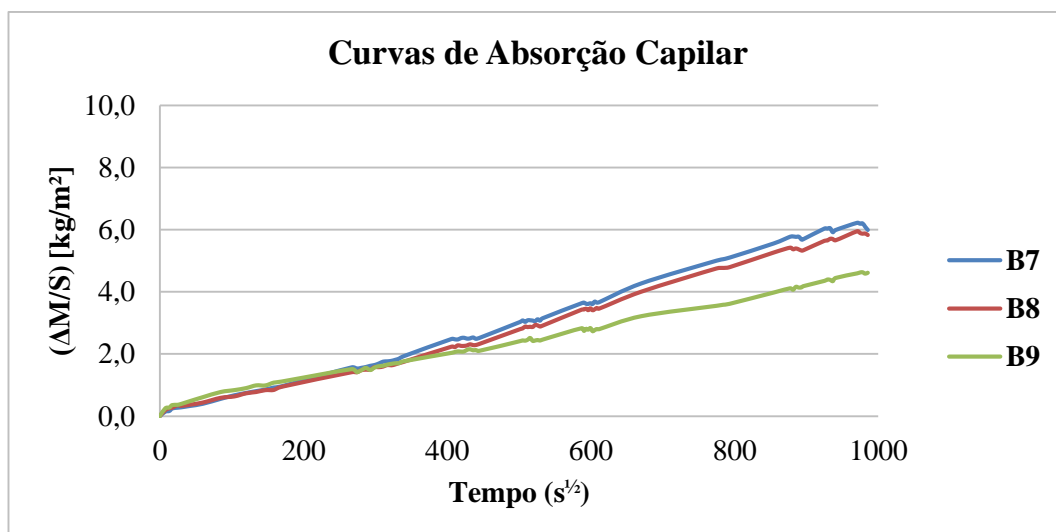


Fig.4.22. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânico e com PCM RT24

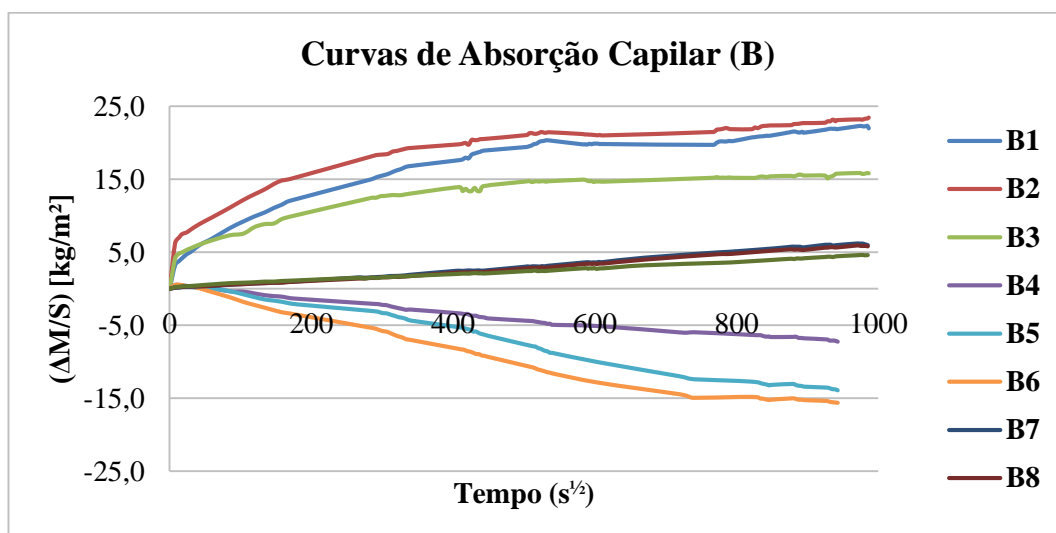


Fig.4.23. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão pozolânico

Após a apresentação gráfica das curvas de absorção capilar de todos os provetes de betão pozolânico, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.13.), síntese da variação de massa por unidade de área e para o fim de ciclo.

Quadro 4.13. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de betão pozolânico imersos parcialmente em água

Provete	PCM	Variação do peso por unidade de área [kg/m ²]	Média [kg/m ²]	Desvio Padrão [kg/m ²]
B1	Sem PCM	21,993	20,413	4,062
B2	Sem PCM	23,448		
B3	Sem PCM	15,798		
B4	SP24E	-7,270	-12,290	4,430
B5	SP24E	-13,949		
B6	SP24E	-15,651		
B7	RT24	5,990	5,476	0,755
B8	RT24	5,830		
B9	RT24	4,609		

Os provetes de betão pozolânico B4, B5 e B6 foram impregnados com material de mudança de fase SP24E, quando imersos parcialmente em água deteorizam-se e perdem massa. Como o PCM SP24E é um sal hidratado, o poder corrosivo deste tipo de material de mudança de fase foi determinante para desagregação do provete. Por outro lado os provetes de betão pozolânico B7, B8 e B9 apresentam uma resposta satisfatória à potencial ocorrência de penetração de água por absorção capilar.

4.5.5.2. Material de construção: betão com agregados vulcânicos

Expõem-se os resultados obtidos na campanha experimental realizada recorrendo a provetes de betão com agregados vulcânicos (Fig.4.24. / Fig.4.25. / Fig.4.26. / Fig.4.27).

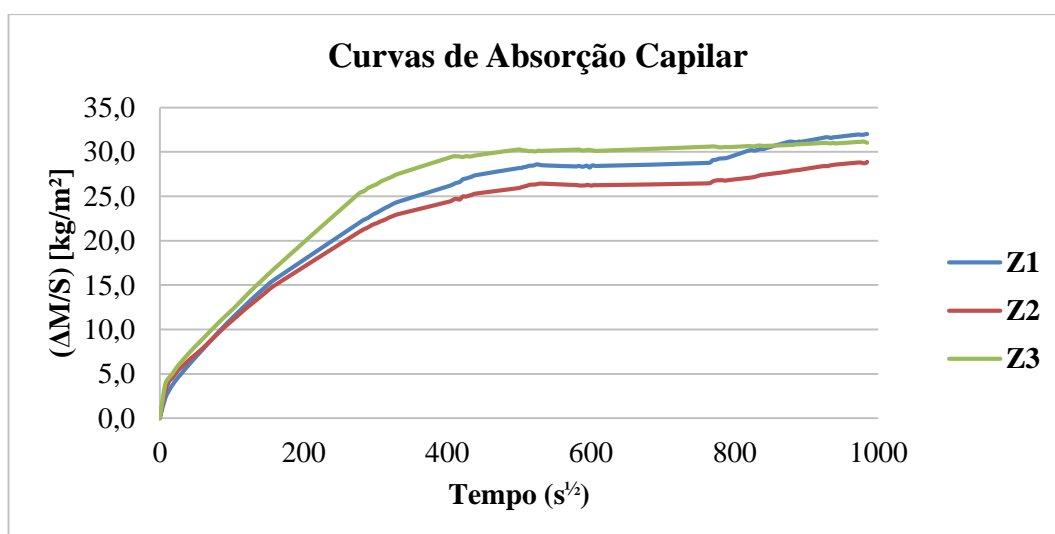


Fig.4.24. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos e sem PCM

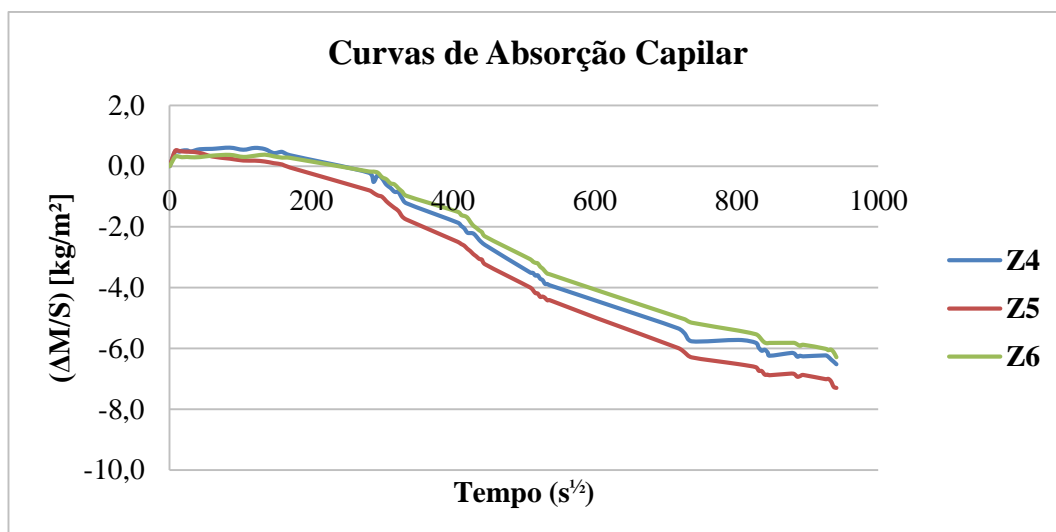


Fig.4.25. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos e com PCM SP24E

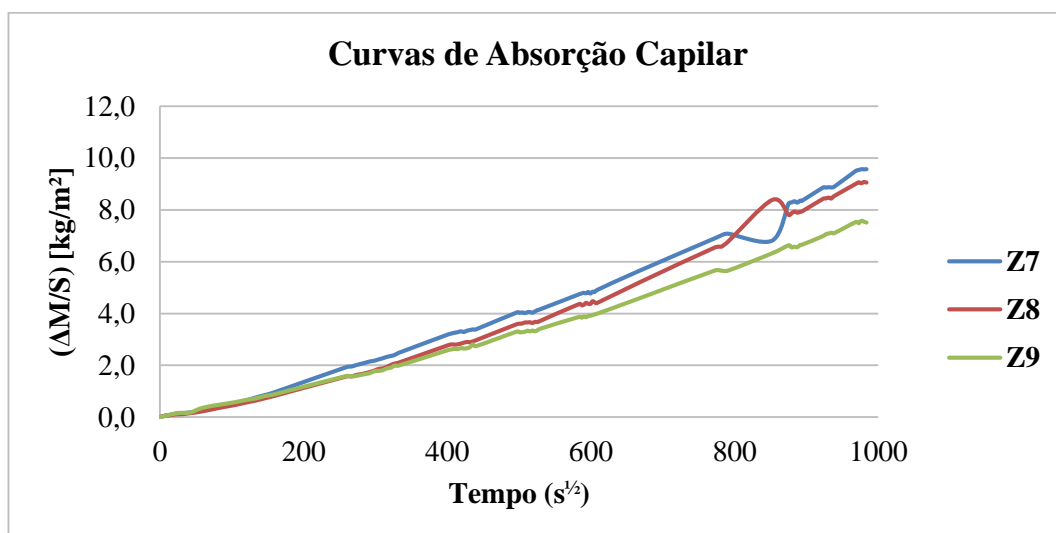


Fig.4.26. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos e com PCM RT24

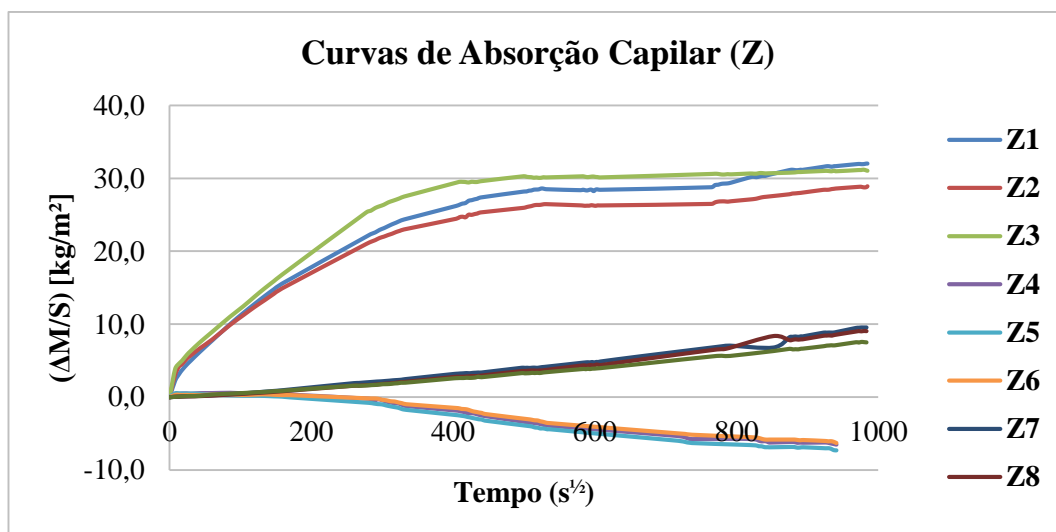


Fig.4.27. – Curvas de absorção capilar dos provetes de betão com agregados vulcânicos

Após a apresentação gráfica das curvas de absorção capilar de todos os provetes de betão com agregados vulcânicos, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.14.), síntese da variação de massa por unidade de área e para o fim de ciclo.

Quadro 4.14. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de betão com agregados vulcânicos imersos parcialmente em água

Proвете	PCM	Variação do peso por unidade de área [kg/m ²]	Média [kg/m ²]	Desvio Padrão [kg/m ²]
Z1	Sem PCM	31,994	30,633	1,586
Z2	Sem PCM	28,891		
Z3	Sem PCM	31,013		
Z4	SP24E	-6,523	-6,702	0,530
Z5	SP24E	-7,298		
Z6	SP24E	-6,284		
Z7	RT24	9,570	8,714	1,072
Z8	RT24	9,062		
Z9	RT24	7,511		

Os provetes de betão com agregados vulcânicos Z4, Z5 e Z6 foram impregnados com material de mudança de fase SP24E, quando imersos parcialmente em água deteorizam-se e perdem massa. Como o PCM SP24E é um sal hidratado, o poder corrosivo deste tipo de material de mudança de fase foi determinante para desagregação do provete. Por outro lado os provetes de betão com agregados vulcânicos Z7, Z8 e Z9 apresentam uma resposta satisfatória à potencial ocorrência de penetração de água por absorção capilar.

4.5.5.3. Material de construção: bloco acústico de betão

Expõem-se os resultados obtidos na campanha experimental realizada recorrendo a provetes de bloco acústico de betão (Fig.4.28. / Fig.4.29. / Fig.4.30 / Fig.4.31).

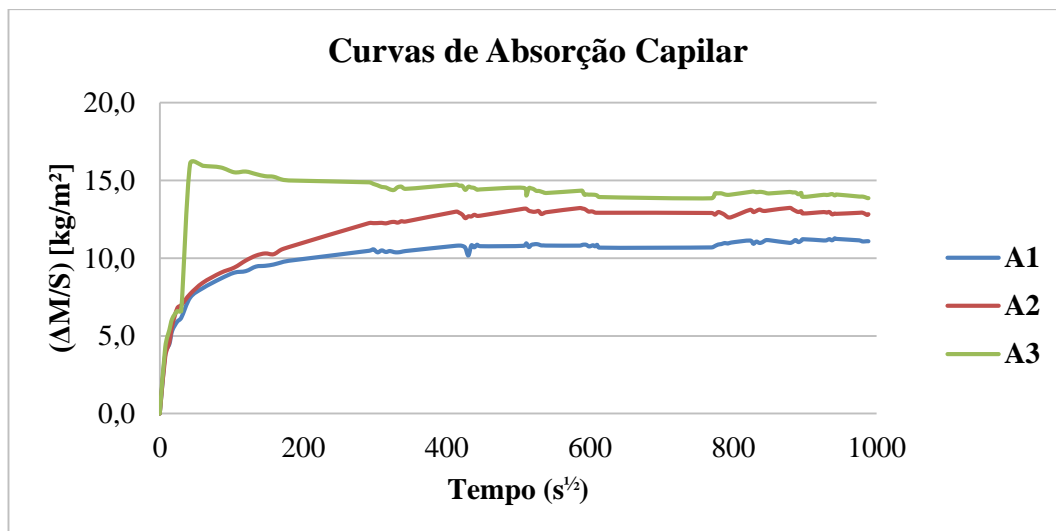


Fig.4.28. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão e sem PCM

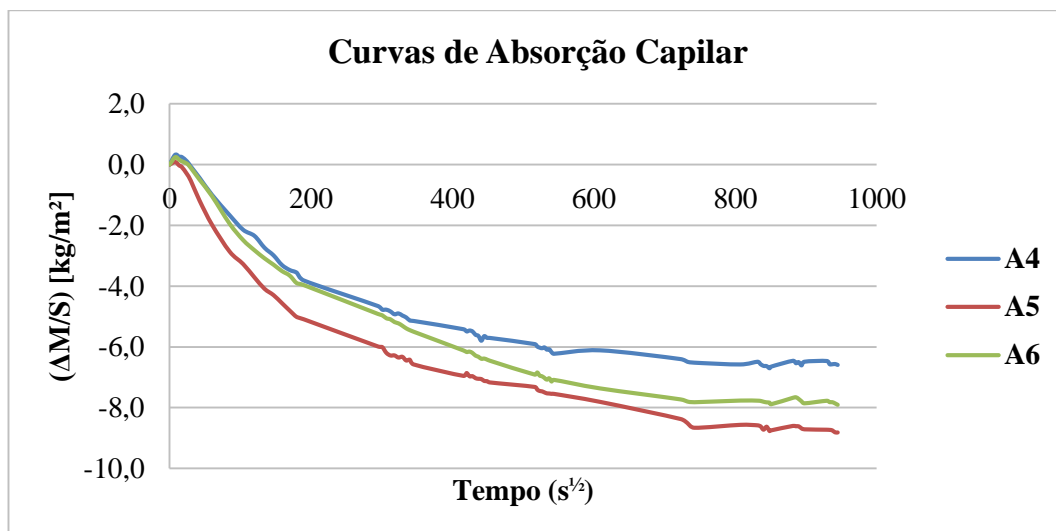


Fig.4.29. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão e com PCM SP24E

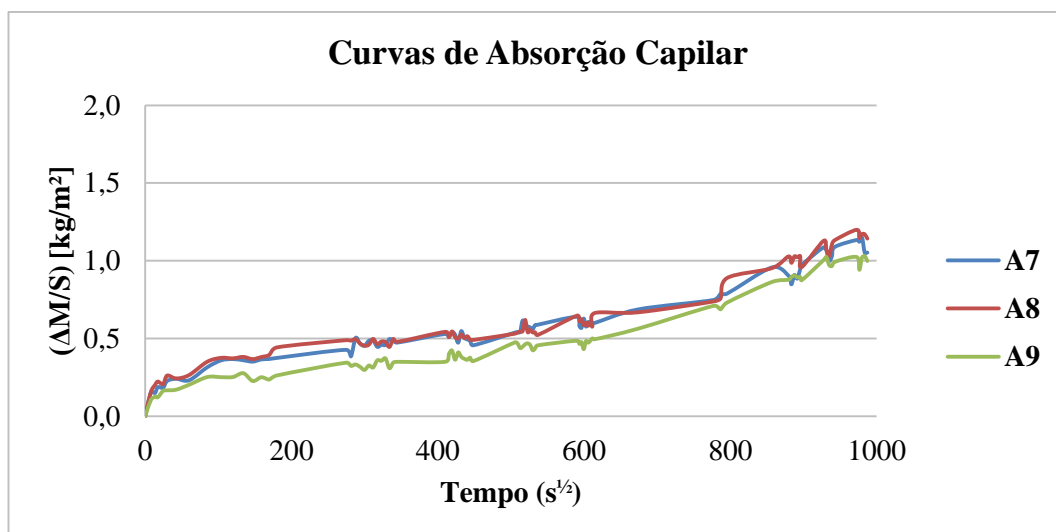


Fig.4.30. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão e PCM RT24

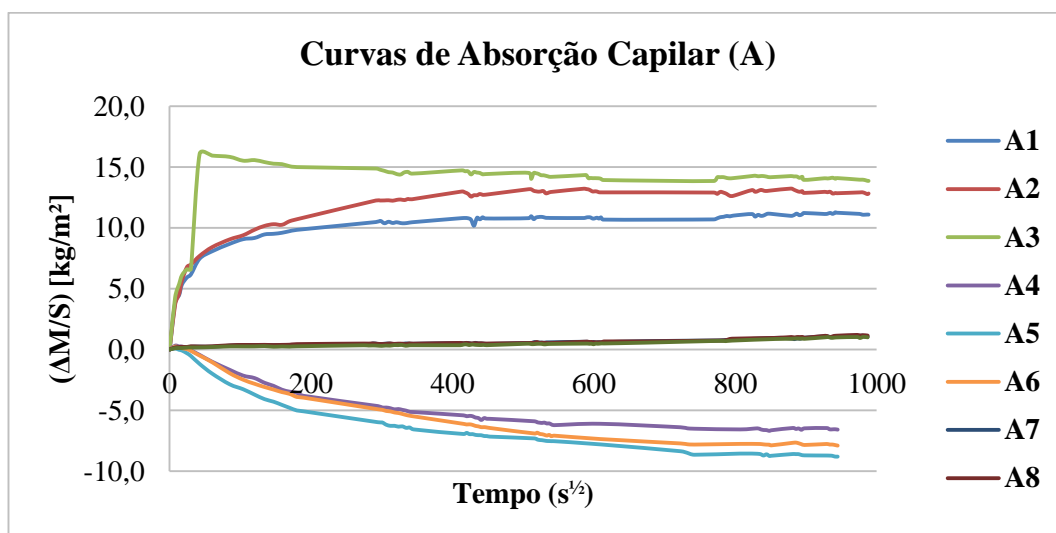


Fig.4.31. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco acústico de betão

Após a apresentação gráfica das curvas de absorção capilar de todos os provetes de bloco acústico de betão, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.15.), síntese da variação de massa por unidade de área e para o fim de ciclo.

Quadro 4.15. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de bloco acústico de betão imersos parcialmente em água

Provete	PCM	Variação do peso por unidade de área [kg/m ²]	Média [kg/m ²]	Desvio Padrão [kg/m ²]
A1	Sem PCM	11,094	12,597	1,401
A2	Sem PCM	12,829		
A3	Sem PCM	13,867		
A4	SP24E	-6,590	-7,769	1,117
A5	SP24E	-8,812		
A6	SP24E	-7,905		
A7	RT24	1,053	1,065	0,073
A8	RT24	1,143		
A9	RT24	0,998		

Os provetes de bloco acústico de betão A4, A5 e A6 foram impregnados com material de mudança de fase SP24E, quando imersos parcialmente em água deteorizam-se e perdem massa. Como o PCM SP24E é um sal hidratado, o poder corrosivo deste tipo de PCM foi determinante para desagregação do provete. Por outro lado os provetes de bloco acústico de betão A7, A8 e A9 apresentam uma resposta satisfatória à potencial ocorrência de penetração de água por absorção capilar.

4.5.5.4. Material de construção: bloco térmico de betão

Expõem-se os resultados obtidos na campanha experimental realizada recorrendo a provetes de bloco térmico de betão (Fig.4.32. / Fig.4.33. / Fig.4.34. / Fig.4.35.).

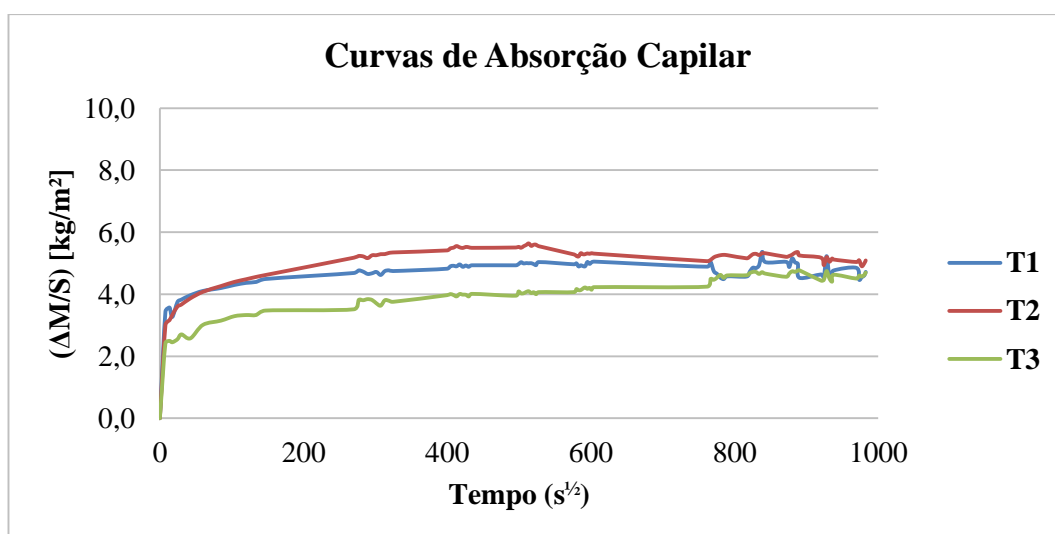


Fig.4.32. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão e sem PCM

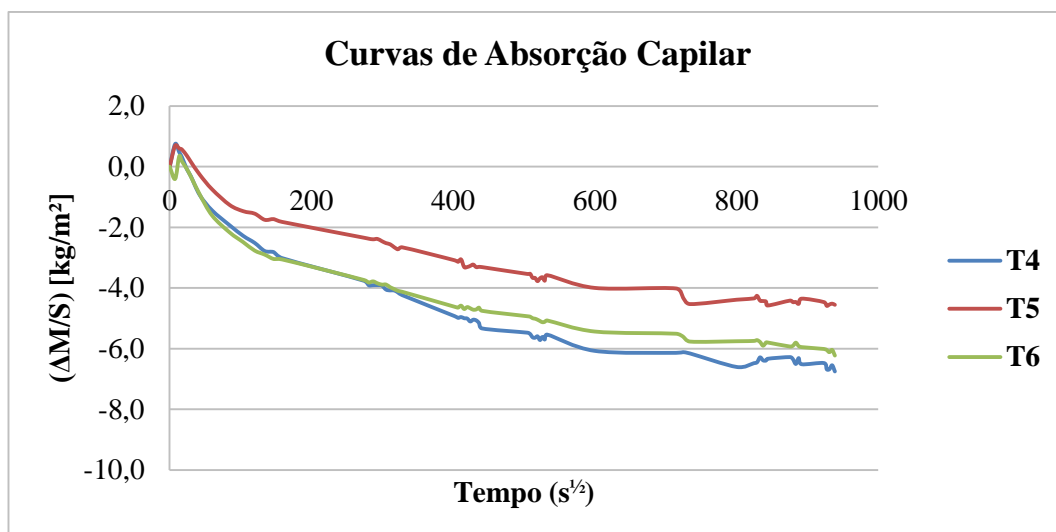


Fig.4.33. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão e com PCM SP24E

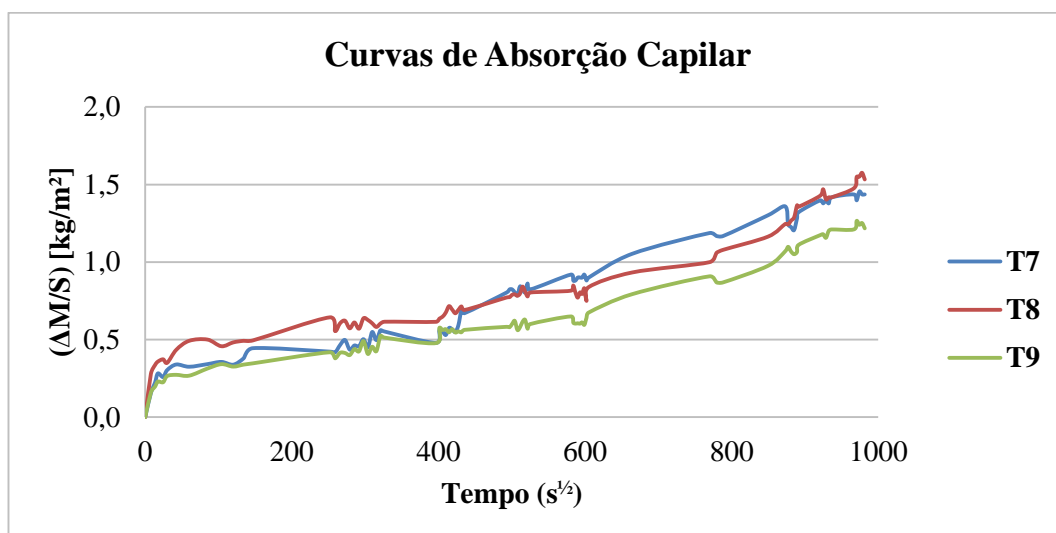


Fig.4.34. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão e com PCM RT24

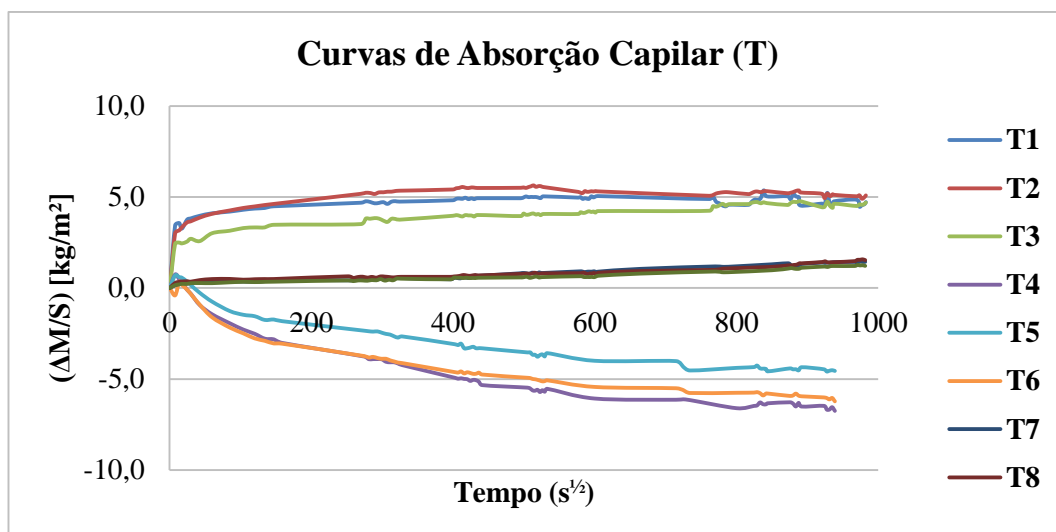


Fig.4.35. – Curvas de absorção capilar dos provetes de bloco térmico de betão

Após a apresentação gráfica das curvas de absorção capilar de todos os provetes de bloco térmico de betão, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.16.), síntese da variação de massa por unidade de área e para o fim de ciclo.

Quadro 4.16. – Variação do peso por unidade de área dos provetes de bloco térmico de betão imersos parcialmente em água

Proвете	PCM	Variação do peso por unidade de área [kg/m ²]	Média [kg/m ²]	Desvio Padrão [kg/m ²]
T1	Sem PCM	4,719	4,835	0,220
T2	Sem PCM	5,089		
T3	Sem PCM	4,697		
T4	SP24E	-6,749	-5,842	1,146
T5	SP24E	-4,554		
T6	SP24E	-6,225		
T7	RT24	1,436	1,395	0,162
T8	RT24	1,533		
T9	RT24	1,217		

Os provetes de bloco térmico de betão T4, T5 e T6 foram impregnados com material de mudança de fase SP24E, quando imersos parcialmente em água deteorizam-se e perdem massa. Como o PCM SP24E é um sal hidratado, o poder corrosivo deste tipo de material de mudança de fase foi determinante para desagregação do provete. Por outro lado os provetes de bloco térmico de betão T7, T8 e T9 apresentam uma resposta satisfatória à potencial ocorrência de penetração de água por absorção capilar.

4.5.5.5. Análise crítica: curvas de absorção capilar

Os distintos materiais de construção: betão pozolânico, betão com agregados vulcânicos, bloco acústico de betão e bloco térmico de betão, apresentam diferentes comportamentos quando imersos parcialmente em água.

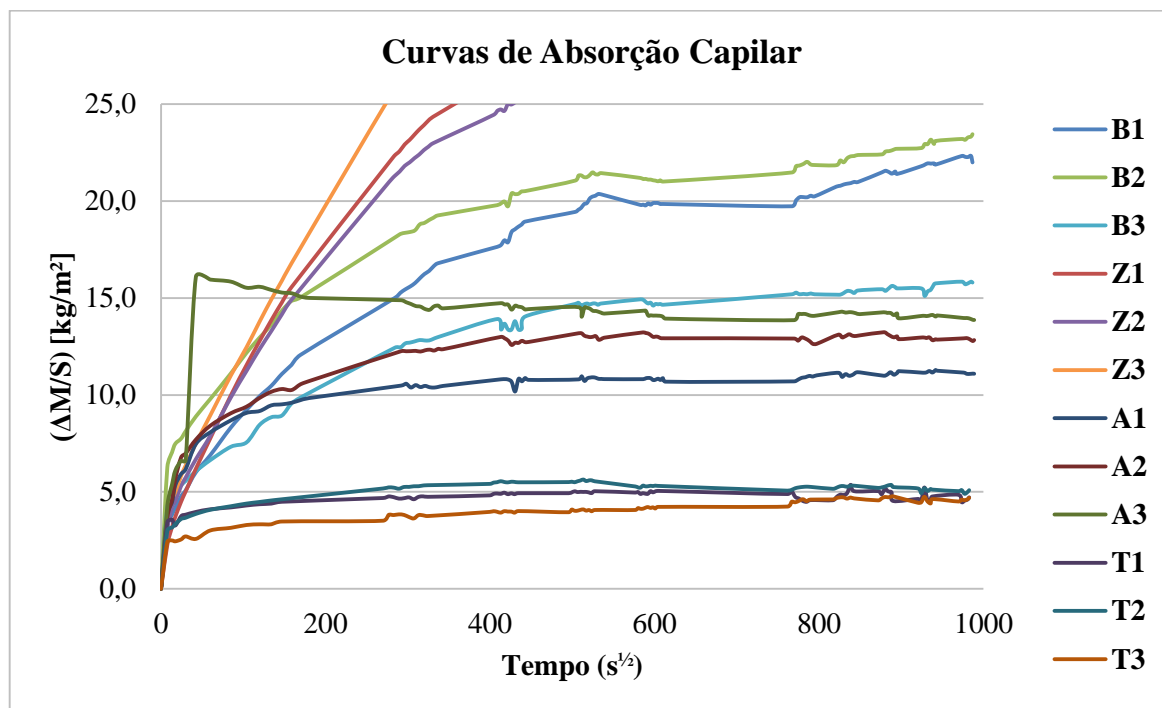


Fig.4.36. – Curvas de absorção capilar dos provetes dos distintos materiais de construção sem PCM

Em relação aos provetes dos diferentes materiais de construção isentos de materiais de mudança de fase pode-se afirmar o seguinte (Fig.4.36.):

- O material de construção: bloco térmico de betão apresenta a melhor resposta uma vez que é este material que absorve menos água enquanto o material de construção betão com agregados vulcânicos apresenta o pior comportamento visto que é o material que absorve mais água.

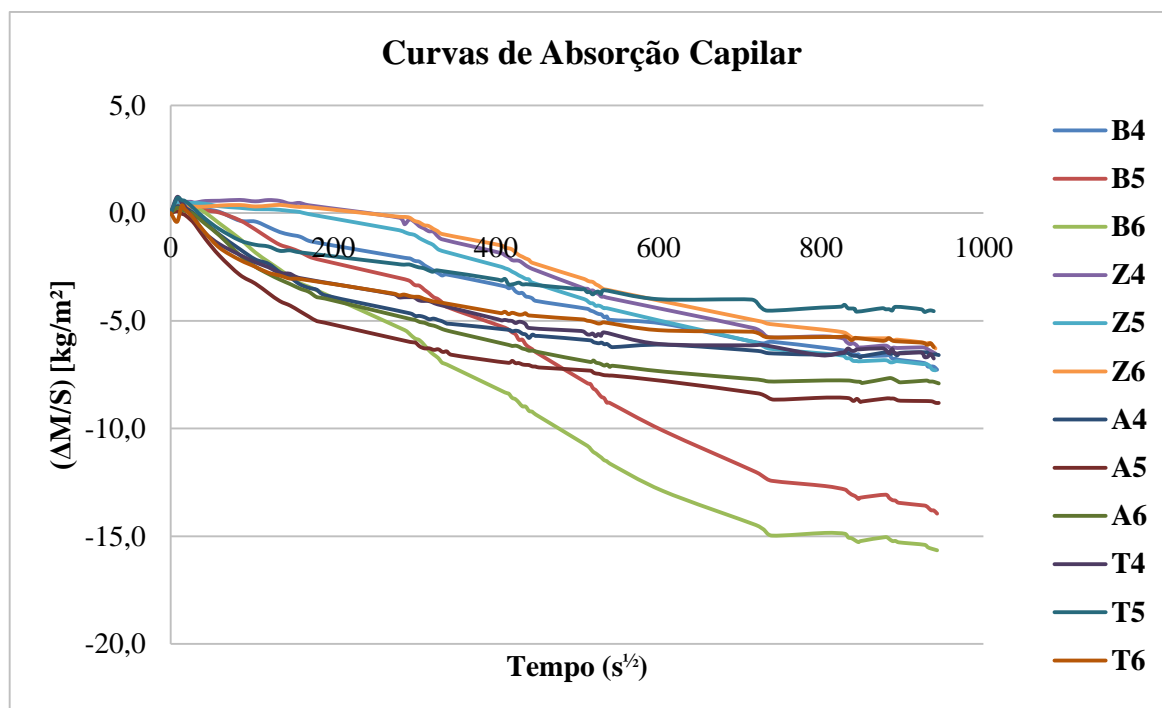


Fig.4.37. – Curvas de absorção capilar dos provetes dos distintos materiais de construção com PCM SP24E

Em relação aos provetes dos diferentes materiais de construção impregnados em material de mudança de fase SP24E pode-se afirmar o seguinte (Fig.4.37.):

- O material de construção: bloco térmico de betão apresenta a melhor resposta uma vez que é este material que absorve menos água enquanto o material de construção betão pozolânico apresenta o pior comportamento visto que é o material que absorve mais água.

É relevante afirmar que o fato de os provetes dos diferentes materiais de construção impregnados em material de mudança de fase SP24E apresentarem diferentes respostas, este PCM como degrada os provetes não pode ser considerado como eficaz e eficiente no controlo das humidades ascensionais. O PCM SP24E é um sal hidratado, este em contacto com água provoca a degradação visível dos provetes, escurecendo a água e libertando partículas. Embora a impregnação tenha decorrido sem problemas, uma vez que o SP24E pode ser incorporado nos materiais de construção por imersão, o facto de ser um sal, com uma composição química que quando em contacto com água provoca a degradação do provete fazendo com que haja perda de massa.

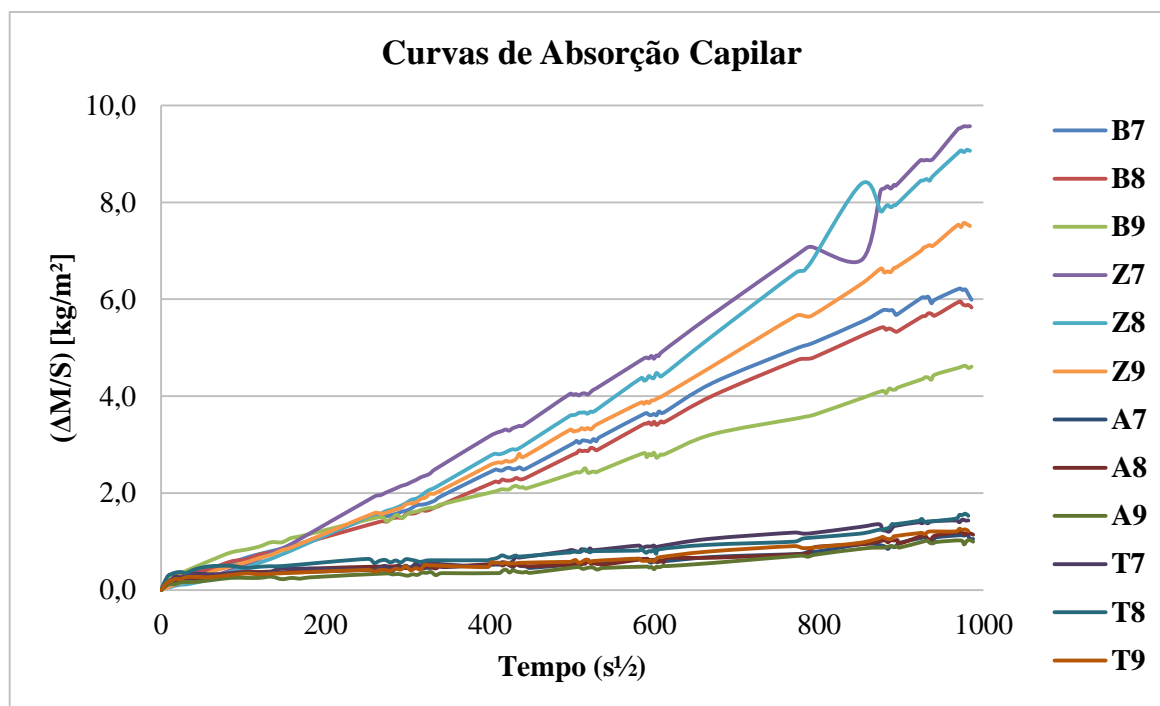


Fig.4.38. – Curvas de absorção capilar dos provetes dos distintos materiais de construção com PCM RT24

Em relação aos provetes dos diferentes materiais de construção impregnados em material de mudança de fase RT24 pode-se afirmar o seguinte (Fig.4.38.):

- O material de construção: bloco acústico de betão apresenta a melhor resposta uma vez que é este material que absorve menos água enquanto o material de construção betão com agregados vulcânicos apresenta o pior comportamento visto que é o material que absorve mais água, de qualquer forma este também tinha maior absorção isento de PCM, pelo que se estabelece uma proporção.

As curvas de absorção capilar dos distintos materiais de construção com PCM RT24 não possuem um desenvolvimento característico deste tipo de ensaios, tal como evidenciado nas curvas de absorção capilar sem PCM incorporado, este era um dos objetivos iniciais deste trabalho, o de observar as diferenças de absorção que não sabíamos o que iríamos obter, nem havia estudos nesse sentido.

4.5.6. COEFICIENTES DE ABSORÇÃO CAPILAR

O coeficiente de absorção por capilaridade (A) determinou-se expressando a variação da massa do provete durante o processo de absorção em função da raiz quadrada do tempo decorrido, em segundos, este traduz a rapidez na absorção.

O coeficiente de capilaridade, (A), é, por definição, igual à inclinação da reta que une os pontos representativos das medições realizadas aos 10 minutos (M1) e os 90 minutos (M2) minutos este é calculado com base na seguinte na equação 4.2.

$$A = 0,1(M2 - M1) [kg/m^2 \cdot s^{0,5}] \quad (4.2)$$

4.5.6.1. Material de construção: betão pozolânico

A figura seguinte (Fig.4.39.) apresenta para os provetes do material de construção poroso, betão pozolânico, os coeficientes de absorção por capilaridade obtidos pela concretização da campanha experimental.

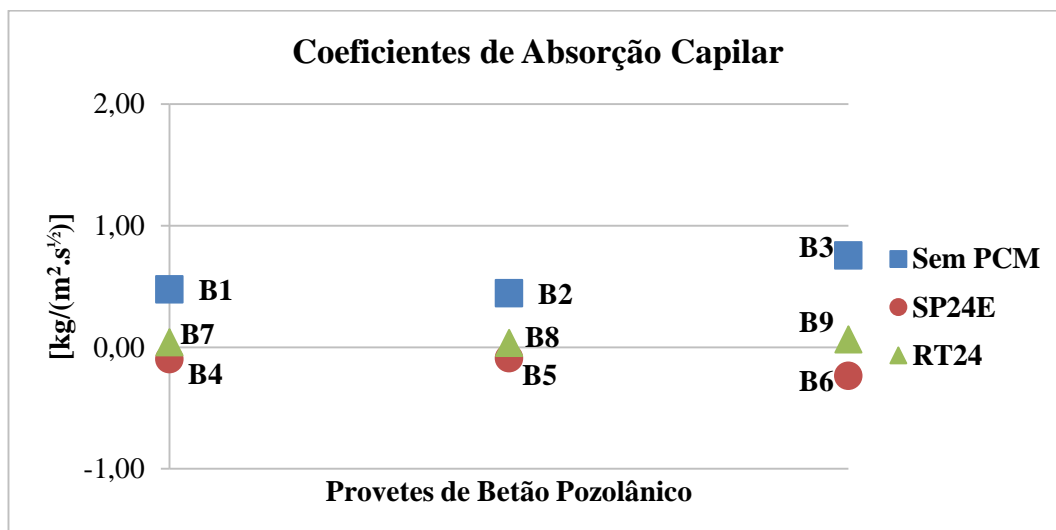


Fig.4.39. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de betão pozolânico imersos parcialmente em água

Após a apresentação gráfica dos coeficientes de absorção capilar de todos os provetes de betão pozolânico, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.17.), síntese da variação dos coeficientes.

Quadro 4.17. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de betão pozolânico imersos parcialmente em água

Provetes	PCM	Coeficiente de Capilaridade $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})]$	Média $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})]$	Desvio Padrão $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})]$
B1	Sem PCM	0,475000	0,558650	0,171388
B2	Sem PCM	0,445150		
B3	Sem PCM	0,755800		
B4	SP24E	-0,099550	-0,141767	0,080372
B5	SP24E	-0,091300		
B6	SP24E	-0,234450		
B7	RT24	0,041350	0,047767	0,015879
B8	RT24	0,036100		
B9	RT24	0,065850		

Após a apresentação gráfica dos pontos representativos de todos os provetes de betão pozolânico conclui-se que os provetes de betão pozolânico B4, B5 e B6 que foram impregnados com material de mudança de fase SP24E apresentam um coeficiente de absorção capilar negativo, visto estarem a perder peso. Por outro lado os provetes de betão pozolânico B7, B8 e B9 apresentam um coeficiente de absorção capilar 91,45% inferior face aos provetes sem PCM (B1, B2, B3).

4.5.6.2. Material de construção: betão com agregados vulcânicos

A figura seguinte (Fig.4.40.) apresenta para os provetes do material de construção poroso, betão com agregados vulcânicos, os coeficientes de absorção por capilaridade obtidos pela concretização da campanha experimental.

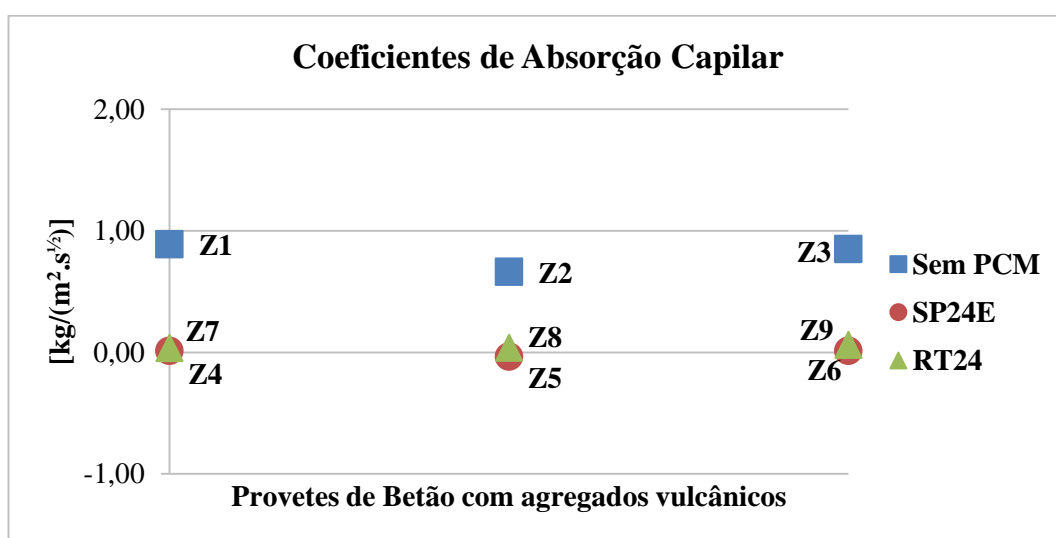


Fig.4.40. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de betão com agregados vulcânicos imersos parcialmente em água

Após a apresentação gráfica dos coeficientes de absorção capilar de todos os provetes de betão com agregados vulcânicos, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.18.), síntese da variação dos coeficientes.

Quadro 4.18. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de betão com agregados vulcânicos imersos parcialmente em água

Provete	PCM	Coeficiente de Capilaridade [kg/(m ² .s ^½)]	Média [kg/(m ² .s ^½)]	Desvio Padrão [kg/(m ² .s ^½)]
Z1	Sem PCM	0,889550	0,800400	0,121739
Z2	Sem PCM	0,661700		
Z3	Sem PCM	0,849950		
Z4	SP24E	0,012000	-0,003983	0,026865
Z5	SP24E	-0,035000		
Z6	SP24E	0,011050		
Z7	RT24	0,036000	0,045400	0,013564
Z8	RT24	0,039250		
Z9	RT24	0,060950		

Após a apresentação gráfica dos pontos representativos de todos os provetes de betão com agregados vulcânicos conclui-se que os provetes de betão com agregados vulcânicos Z4, Z5 e Z6 que foram impregnados com material de mudança de fase SP24E apresentam um coeficiente de absorção capilar próximo do nulo. Por outro lado os provetes de betão com agregados vulcânicos Z7, Z8 e Z9 apresentam um coeficiente de absorção capilar 94,33% inferior face aos provetes sem PCM (Z1, Z2, Z3).

4.5.6.3. Material de construção: bloco acústico de betão

A figura seguinte (Fig.4.41.) apresenta para os provetes do material de construção poroso, bloco acústico de betão, os coeficientes de absorção por capilaridade obtidos pela concretização da campanha experimental.

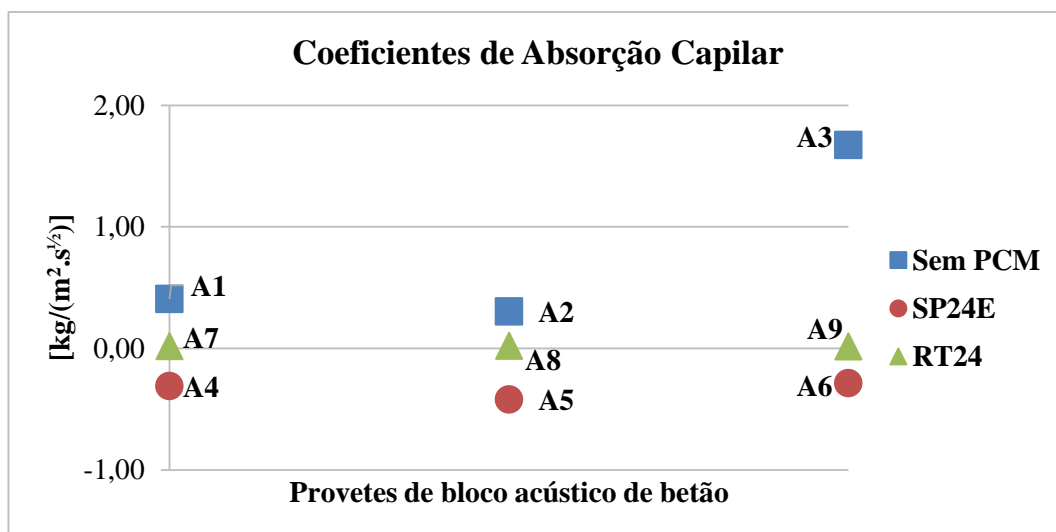


Fig.4.41. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de bloco acústico de betão imersos parcialmente em água

Após a apresentação gráfica dos coeficientes de absorção capilar de todos os provetes de bloco acústico de betão, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.19.), síntese da variação dos coeficientes.

Quadro 4.19. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de bloco acústico de betão imersos parcialmente em água

Provetes	PCM	Coeficiente de Capilaridade [kg/(m².s¹/²)]	Média [kg/(m².s¹/²)]	Desvio Padrão [kg/(m².s¹/²)]
A1	Sem PCM	0,406250	0,354400*	0,073327*
A2	Sem PCM	0,302550		
A3	Sem PCM	1,672750		
A4	SP24E	-0,308850	-0,338317	0,072397
A5	SP24E	-0,420800		
A6	SP24E	-0,285300		
A7	RT24	0,019800	0,019250	0,003805
A8	RT24	0,022750		
A9	RT24	0,015200		

* o provete A3 não foi considerado no cálculo devido à grande discrepância de valores para provetes sem PCM

Após a apresentação gráfica dos pontos representativos de todos os provetes de bloco acústico de betão conclui-se que os provetes de bloco acústico de betão A4, A5 e A6 que foram impregnados com material de mudança de fase SP24E apresentam um coeficiente de absorção capilar negativo, visto

estarem a perder peso. Por outro lado os provetes de bloco acústico de betão A7, A8 e A9 apresentam um coeficiente de absorção capilar 94,57% inferior face aos provetes sem PCM (A1, A2, A3).

4.5.6.4. Material de construção: bloco térmico de betão

A figura seguinte (Fig.4.42.) apresenta para os provetes do material de construção poroso, bloco térmico de betão, os coeficientes de absorção por capilaridade obtidos pela concretização da campanha experimental.

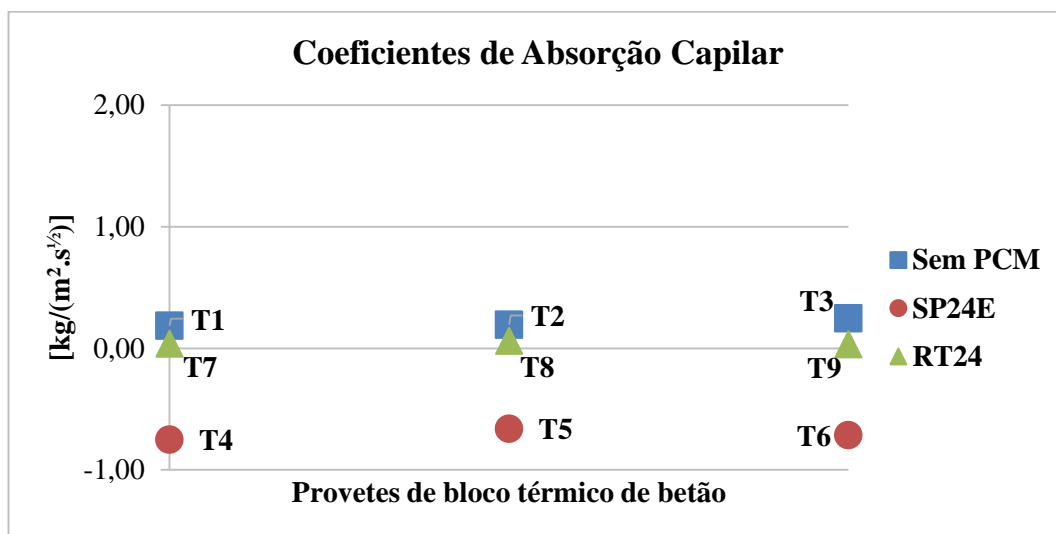


Fig.4.42. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes de bloco térmico de betão imersos parcialmente em água

Após a apresentação gráfica dos coeficientes de absorção capilar de todos os provetes de bloco térmico de betão, apresenta-se de seguida o quadro, (Quadro 4.20.), síntese da variação dos coeficientes.

Quadro 4.20. – Coeficientes de capilaridade dos provetes de bloco térmico de betão imersos parcialmente em água

Provete	PCM	Coeficiente de Capilaridade [kg/(m ² .s ^½)]	Média [kg/(m ² .s ^½)]	Desvio Padrão [kg/(m ² .s ^½)]
T1	Sem PCM	0,186050	0,208917	0,032564
T2	Sem PCM	0,194500		
T3	Sem PCM	0,246200		
T4	SP24E	-0,751000	-0,708550	0,045392
T5	SP24E	-0,660700		
T6	SP24E	-0,713950		
T7	RT24	0,039200	0,044933	0,015185
T8	RT24	0,062150		
T9	RT24	0,033450		

Após a apresentação gráfica dos pontos representativos de todos os provetes de bloco térmico de betão conclui-se que os provetes de bloco térmico de betão T4, T5 e T6 que foram impregnados com material de mudança de fase SP24E apresentam um coeficiente de absorção capilar bastante fraco sendo este negativo, visto estarem a perder peso. Por outro lado os provetes de bloco térmico de betão T7, T8 e T9 apresentam um coeficiente de absorção capilar 78,49% inferior face aos provetes sem PCM (T1, T2, T3).

4.5.6.5. Análise crítica: coeficientes de absorção capilar

Verifica-se que para os provetes dos diferentes materiais de construção porosos: betão pozolânico; betão com agregados vulcânicos; bloco acústico de betão; bloco térmico de betão, os provetes mediante a solução de material de mudança de fase a que foram sujeitos apresentam diferentes comportamentos quando imersos parcialmente em água.

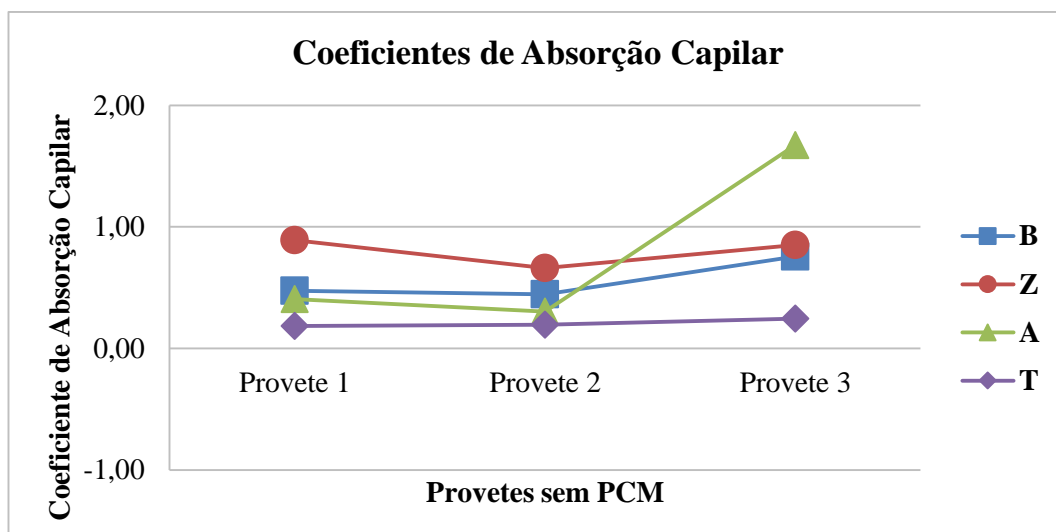


Fig.4.43. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes sem PCM

Realizando uma analogia aos provetes de materiais de construção isentos de materiais de mudança de fase pode-se afirmar o seguinte (Fig.4.43.):

- O material de construção: bloco térmico de betão apresenta a melhor resposta uma vez que é este material que possui coeficiente de absorção capilar menor enquanto que o material de construção betão com agregados vulcânicos apresenta o pior comportamento por possuir um coeficiente de absorção capilar mais elevado.

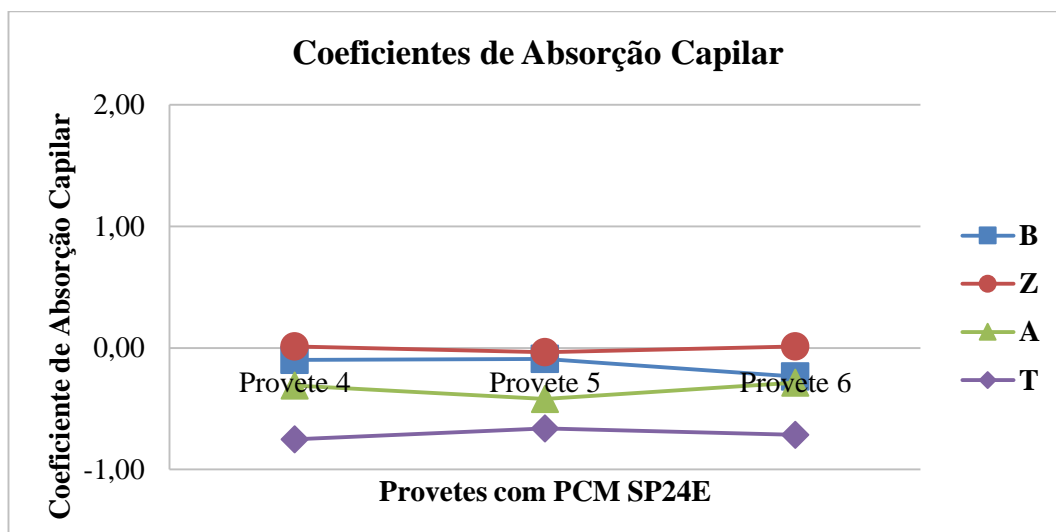


Fig.4.44. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes com PCM SP24E

Realizando uma analogia aos provetes de materiais de construção impregnados em material de mudança de fase SP24E pode-se afirmar o seguinte (Fig.4.44.):

- O material de construção: betão com agregados vulcânicos apresenta a melhor resposta uma vez que é este material que possui um coeficiente de absorção capilar menor

enquanto que o material de construção bloco térmico de betão apresenta o pior comportamento por possuir um coeficiente de absorção capilar mais elevado.

É relevante afirmar que o fato de os provetes de materiais de construção impregnados em material de mudança de fase SP24E apresentarem diferentes respostas, este PCM como degrada os provetes não pode ser considerado como eficaz e eficiente no controlo das humidades ascensionais.

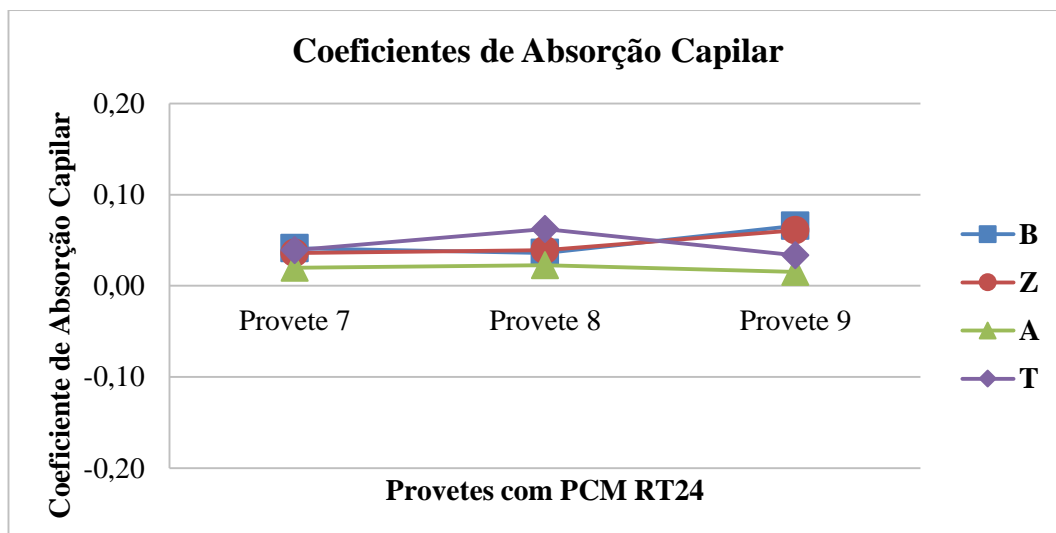


Fig.4.45. – Coeficientes de absorção por capilaridade dos provetes com PCM RT24

Em relação aos provetes de materiais de construção impregnados em material de mudança de fase RT24 pode-se afirmar o seguinte (Fig.4.45.):

- O material de construção: bloco acústico de betão apresenta a melhor resposta uma vez que é este material que possui um coeficiente de absorção capilar menor enquanto que o material de construção betão pozolânico apresenta o pior comportamento por possuir um coeficiente de absorção capilar mais elevado.

4.5.7. ALTURA ATINGIDA PELA MANCHA DE HUMIDADE

A maior ou menor presença de humidade ascensional pode ser medida observando a progressão atingida pela mancha de humidade em elementos construtivos. Nos provetes dos distintos materiais de construção impregnados em materiais de mudança de fase, SP24E e RT24, não é possível detetar a localização da mancha de humidade devido à impregnação ter escurecido os materiais de construção originais. Na figura seguinte (Fig.4.46.) mostra-se o processo de medição da progressão atingida, para o fim de ciclo, os valores foram arredondados à unidade. A geometria da base não será causa das diferentes progressões mas por outro lado a porosidade e a rede capilar do material terão influência.



Fig.4.46. – Quantificação da altura atingida pela água (provete T3)

Contudo nos provetes dos distintos materiais de construção isentos de materiais de mudança de fase é possível visualizar a altura atingida (Fig.4.47).

Como é possível comprovar pela síntese de resultados apresentada no quadro seguinte (Quadro 4.21.) nos provetes de bloco térmico de betão a mancha de humidade ascensional atinge uma elevação menor, o que vai de encontro aos resultados obtidos para esse mesmo material na definição da curva e coeficiente de absorção capilar.

Da mesma forma nos provetes de betão com agregados vulcânicos a mancha de humidade ascensional atinge uma maior elevação, este material também já tinha absorvido mais água, representado quer curva quer na definição do coeficiente de absorção capilar.



a) Provetes de betão pozolânico



b) Provetes de betão com agregados vulcânicos



c) Provetes de bloco acústico de betão



d) Provetes de bloco térmico de betão

Fig.4.47. – Mancha de humidade ascensional nos provetes de distintos materiais de construção

Quadro 4.21. – Definição das alturas atingidas pela progressão da humidade ascensional

Provete	Área base [cm ²]	Altura do provete [cm]	Estimativa da altura [cm]	Média [cm]	Desvio Padrão [cm]
B1	16,8	19,0	6,0	7,67	1,53
B2	16,5	19,0	9,0		
B3	46,2	19,0	8,0		
Z1	20,35	19,0	19,0	17,00	2,83
Z2	18,55	19,0	15,0		
Z3	20,52	19,0	19,0		
T1	46,2	19,0	3,0	3,33	0,58
T2	34,4	19,0	4,0		
T3	46,4	19,0	3,0		
A1	16,56	19,0	6,5	7,17	1,61
A2	15,48	19,0	6,0		
A3	18,00	19,0	9,0		

4.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Os ensaios realizados ao longo da campanha experimental permitiram observar um diferente comportamento dos materiais de construção com e sem PCM incorporados quando sujeitos à ação da água.

A campanha experimental permitiu observar o diferente comportamento dos materiais no que respeita a: absorção capilar; quantidade de PCM incorporado; e absorção capilar após incorporação de PCM.

A análise dos resultados permitiu concluir que o bloco térmico de betão apresenta melhor comportamento à absorção capilar.

O betão pozolânico foi o material de construção que maior quantidade de PCM teve capacidade de reter.

O maior efeito, no que respeita à limitação de absorção de água por capilaridade foi conseguido pelo bloco acústico de betão incorporado com 8,45% de PCM RT24 garantindo uma melhoria 94,57% face ao mesmo material sem PCM RT24.

5

PROGRAMA DE CÁLCULO WUFI 2D

5.1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento de ocorrências de patologias em elementos de construção, derivadas da humidade ascensional nos elementos, tem incentivado o estudo do desempenho higrotérmico.

Desde o início do século XX, em particular, nas últimas décadas o estudo e análise do estado da humidade na construção têm tido um destaque pertinente no sentido de encontrar respostas e soluções às questões que têm surgido assim como resolver os problemas. Com o objetivo de prevenir o aparecimento de patologias em elementos construtivos, na sua vida útil, que têm como origem o fenómeno da humidade, têm sido apresentados programas de cálculo que permitem analisar e conceber simulações do comportamento higrotérmico, de uma forma mais eficaz e rápida [9].

A modelação da transferência de calor e humidade em materiais e elementos de construção tem sido objetivo de uma importante investigação, tendo surgido a partir do ano de 1950 vários modelos fundamentados na mecânica dos fluidos empregando as leis de difusão de massa (fase líquida - Darcy e fase vapor - Fick) e de difusão de calor (Fourier) [1].

Luikvov [52] e Philip - De Vries [53] foram os primeiros a estudar e a considerar a transferência conjunta de humidade (fase líquida e fase vapor) e de calor em paredes de edifícios. Sequencialmente surgiram novos métodos e modelos (1D e 2D) que viriam a abranger novos conhecimentos acerca das diversas formas de transporte simultâneo de calor e humidade em elementos de multicamadas.

Na sua tese de doutoramento, Künzle desenvolveu o programa de cálculo WUFI, fundamentado no modelo desenvolvido por Kiehl, cuja análise empírica revelou resultados favoráveis, passando este programa a ser uma referência a nível internacional [54, 55].

Os fenómenos de transferência de calor, ar e humidade no interior das paredes são tridimensionais, mas tendo em conta a continuidade das paredes que estão sujeitas à humidade ascensional, é possível considerar uma análise bidimensional (2D), simplificando deste modo o problema [1].

No ano de 1975 foi criada a “International Energy Agency” (IEA) com o intuito de implementar um programa internacional sobre a temática da energia tendo como objetivo fulcral a conservação de energia e a evolução de alternativas fontes de energia. Foi realizado uma indagação, com os países intervenientes, com o propósito de obter uma lista de programas de simulação de transferência conjunta de calor, ar e humidade, através do Annex 24 concluído no ano de 1996 [56].

Os modelos empregados possibilitam a combinação de várias propriedades e condicionantes desta forma através de simulações é possível testá-los num curto período de tempo. No entanto, uma vez que se trata de uma simulação é fulcral a aproximação das condições reais, por vezes de definição complexa.

Os programas evoluíram e surgiram novos, o quadro seguinte (Quadro 5.1.) apresenta uma lista dos programas mais evoluídos sobre a transferência de calor, ar e humidade. Estes programas possibilitam uma análise bidimensional permitindo simular o processo da humidade ascensional.

Quadro 5.1. – Programas higrotérmicos em 2D [1]

	Programa	Nome do Autor
1	WUFI 2D	Künzel
	WUFI - ORNL/IBP	Künzel and Karagiozis
2	LATENITE	Karagiozis and Salonvaara
3	DIM	Grundewald
4	SIMPLE - FULUV	Okland
5	TCCC2D	Ojanen
6	HMTRA	Gawin, Schrefler
7	TRATMO2	Salonvaara
8	FRET	Matsumoto, Hokoï, Hanato
9	2DHA	Janssens
10	FSEC	Kerestecioglu, Gu, Swami, Fairey
11	MOISTURE - EXPERT	Karagiozis

5.2. PROGRAMA DE CÁLCULO WUFI 2D

Tendo em conta os vários modelos existentes o selecionado foi o programa WUFI 2D versão 3.3, sendo este um programa comercial, com o qual é possível obter resultados adequados à análise que se irá realizar, em vários estudos sobre este fenómeno, humidade ascensional, este programa encontra-se disponível no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, (FEUP). Outros programas com o HUMIVENT, em que se introduz a técnica do tratamento da humidade ascensional por ventilação da base, também se encontram disponíveis no referido laboratório mas para a análise que se pretende e para o fim a que destina não será alvo de referência.

Como já foi referido anteriormente uma das grandes vantagens em usar este programa de simulação é a eficácia e rapidez com que os resultados são obtidos em comparação com as análises laboratoriais.

Foi desenvolvido no “Fraunhofer-Institut für Bauphysik” em Holzkirchen, Alemanha, e possui uma vasta consolidação experimental. É uma ferramenta que permite uma análise bidimensional da transferência de calor e de humidade nos elementos de construção. O programa WUFI 2D é

fundamentado no método dos volumes-finitos, permitindo a modelação de materiais de construção com geometrias de complexa definição [9, 57].

Trata-se de um programa acessível a qualquer pessoa interessada no fenómeno da transferência de calor e de humidade, seja por engenheiros, arquitetos, professores, estudantes.

Este programa de cálculo tem como base um sistema de equações não lineares de transferência de calor e humidade, interligadas pela recíproca dependência dos parâmetros. Se por um lado a condutibilidade térmica, a entalpia total e o calor gerado no interior do elemento dependem do teor de humidade, por outro, os fluxos de humidade dependem da temperatura. Estas podem ser determinadas em conjunto em função da temperatura e da humidade relativa [9]. Expõem-se as equações 5.1 e 5.2, para a transferência simultânea de calor e humidade obtidas por Künzle, H. M. [54, 58], e que serviram de suporte ao desenvolvimento do programa de cálculo WUFI 2D [1].

$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + h_v \nabla(\delta_p \nabla(\phi p_{sat})) \quad (5.1)$$

$$\frac{dw}{d\phi} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla(D_\phi \nabla \phi + \delta_p \nabla(\phi p_{sat})) \quad (5.2)$$

Em que:

(dH/dT) - Capacidade de armazenamento de calor do material húmido $[J/(m^3.k)]$

$(dw/d\phi)$ - Capacidade de armazenamento de humidade do material húmido $[kg/m^3]$

λ - Condutibilidade térmica do material húmido $[W/(m.K)]$

h_v - Entalpia de evaporação da água $[J/kg]$

D_ϕ - Coeficiente de condução líquida $[kg/(m.s)]$

δ_p - Permeabilidade ao vapor de água do material $[kg/(m.s.Pa)]$

T - Temperatura $[^\circ C]$

w - Teor de humidade do material $[kg/m^3]$

ϕ - Humidade relativa $[-]$

p_{sat} - Pressão de saturação do vapor de água $[Pa]$

A potencialidade gráfica do programa de cálculo permite a definir a geometria dos materiais de construção, a seleção das propriedades dos elementos constantes da base de dados do programa e/ou a criação de novos materiais bem como a definição das condições de fronteira.

A utilização do programa de cálculo em análise fornece informações sobre vários aspetos de carácter higrotérmico, no que se refere ao seu comportamento ao longo do tempo, especificamente:

- Teor de humidade para o elemento de construção envolvido;
- Configuração em 2D, da variação de temperatura, pressão do vapor, humidade relativa e teor de humidade;

- Teor de humidade total da malha do elemento em estudo (material de construção em contacto água);
- Temperatura, humidade relativa e teor de humidade em qualquer ponto no interior da estrutura em estudo.

5.3. CONTEXTUALIZAÇÃO

A simulação do comportamento higrotérmico do material de construção em contacto com o terreno é realizada tendo em conta a seguinte informação [1]:

- Geometria do elemento de construção a analisar e da malha que melhor se adapta ao cálculo desejado, tendo em atenção que a malha não deve ser demasiado apertada senão o programa começa a divergir;
- Propriedades higrotérmicas dos elementos de construção incluídos;
- Condições climáticas do meio exterior e interior. No elemento de construção em causa, para o estudo da humidade ascensional, considera-se que a face inferior do elemento está em contacto direto com água (HR=100%);
- Condições iniciais de temperatura e de humidade relativa.

5.4. PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Nesta análise, é relevante conhecer a definição de coeficiente de absorção de água dos materiais de construção uma vez que esta é uma propriedade decisiva no modo de absorção de água, ou seja, na propagação da humidade ascensional. A introdução dos elementos construtivos no programa de cálculo WUFI 2D pressupõe o conhecimento das características físicas e químicas de todos os materiais constituintes do elemento construtivo. Desta forma serão definidas as propriedades básicas dos diferentes materiais, enunciadas no quadro seguinte (Quadro 5.2.).

Quadro 5.2. – Propriedades dos materiais de construção [1]

Propriedades	Unidades
Espessura - e	cm
Massa volúmica - ρ	kg/m ³
Calor específico - c_p	J/(kg.K)
Porosidade - ε	%, m ³ /m ³
Condutibilidade térmica - λ	W/(m.K)
Fator de resistência à difusão do vapor - μ	-
Humidade relativa - ϕ	%
Curvas higroscópicas - $w=f(\phi)$	
Coeficiente de transporte líquido - $D_w (w_{80}, w_{sat})$	m ² /s
Coeficiente de absorção - A	kg/(m ² .√s)
Teor de humidade de saturação - w_{sat}	kg/m ³

5.5. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Os parâmetros climáticos expostos no quadro seguinte (Quadro 5.3.) são necessários conhecer para o intervalo de tempo em análise.

Quadro 5.3. – Parâmetros Climáticos

Parâmetros Climáticos	Unidades
Chuva incidente na superfície vertical exterior	$l/(m^2.h)$
Radiação solar incidente na superfície vertical	W/m^2
Temperatura do ar exterior	$^{\circ}C$
Humidade relativa do ar exterior	0 - 1
Temperatura do ar interior	$^{\circ}C$
Humidade relativa do ar interior	0 - 1
Pressão atmosférica	Pa

5.6. CONDIÇÕES INICIAIS

Além de todos os parâmetros já apresentados é condição indispensável para se proceder a execução de uma simulação conhecer as condições iniciais dos materiais de construção, ou seja, a humidade relativa e temperatura [1].

5.7. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA E EXECUÇÃO DE SIMULAÇÕES

O programa de cálculo possibilita obter resultados de temperatura, teor de água e humidade relativa, do material de construção em estudo. Os resultados obtidos podem ser observados numa configuração 2D.

5.7.1. INFORMAÇÃO DO PROJETO

O programa de cálculo WUFI 2D versão 3.3 inicia-se com uma apresentação de uma janela principal, onde se observam os vários comandos que dão acesso a todas as opções disponíveis e necessárias para a formulação da simulação, tais como: introduzir a geometria dos elementos de construção, definir a malha, selecionar as propriedades dos materiais, a definição das condições de fronteira, climáticas e de controlo, e ainda proceder à execução de simulações.

A introdução de dados no programa é realizada através da seleção destes itens, localizados no lado esquerdo da janela principal (Fig.5.1.).

A introdução de dados no programa de simulação inicia-se pela configuração do elemento de construção designadamente a sua constituição, a definição da malha e as condições iniciais.

Posteriormente define-se os parâmetros meteorológicos a simular e por ultimo é possível definir o período de tempo em que será realizada a simulação, estando neste momento o programa preparado para executar as simulações.

Na janela principal do programa de cálculo são visíveis parâmetros constantes nas informações de projeto tais como:

- Nome de projeto;
- Número de projeto;
- Nome do cliente;
- Localização;
- Contatos;
- Data do projeto (a data do projeto surge por defeito sendo passível de alteração).

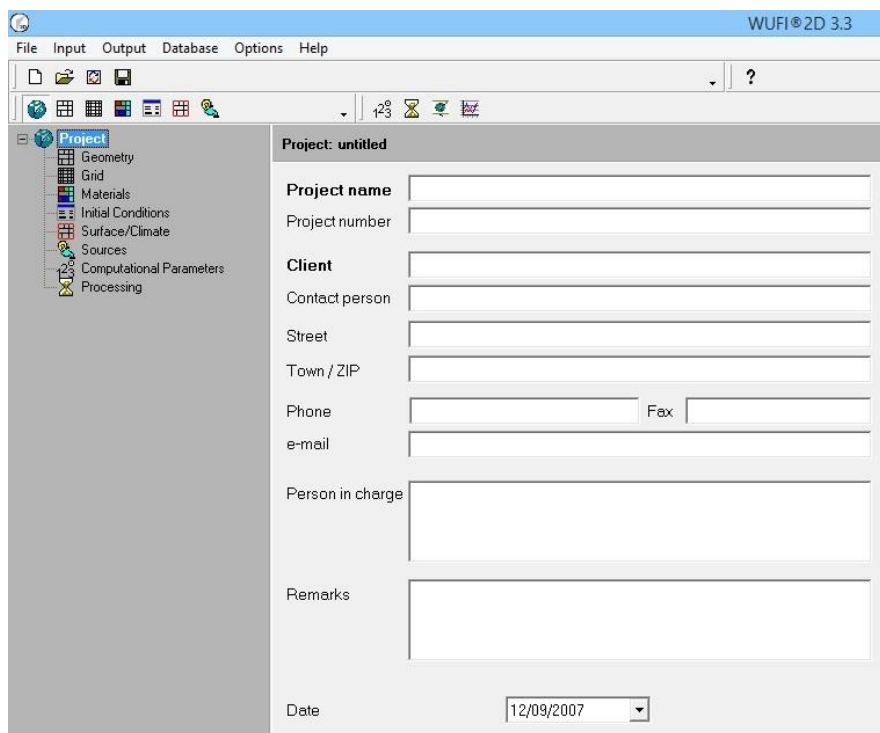


Fig.5.1. – Janela principal

Todos os parâmetros em nada afetam as simulações executadas, são informativos e de preenchimento opcional sendo possível acrescentar algumas informações adicionais sobre o projeto em estudo, de forma a facilitar uma interpretação futura.

No programa de cálculo existem ainda seis opções disponíveis, na janela principal, que são:

- File: iniciar um projeto ou abrir um projeto já existente e guardar o trabalho efetuado;
- Input: criar e/ou alterar a geometria dos elementos de construção, introduzir os materiais intervenientes e as condições de fronteira, introduzir orientação e inclinações do elemento, definir os coeficientes de transferência e as condições iniciais, definir as condições climáticas interiores e exteriores, identificar o período de ocorrência da simulação e as respetivas características;
- Output: visualização dos resultados;
- Database: definição e criação dos materiais;
- Opções: outras opções do programa;
- Help: manual de ajuda de utilização do programa.

Na figura seguinte (Fig.5.2.) são apresentados os vários comandos disponíveis na janela principal referidos anteriormente.

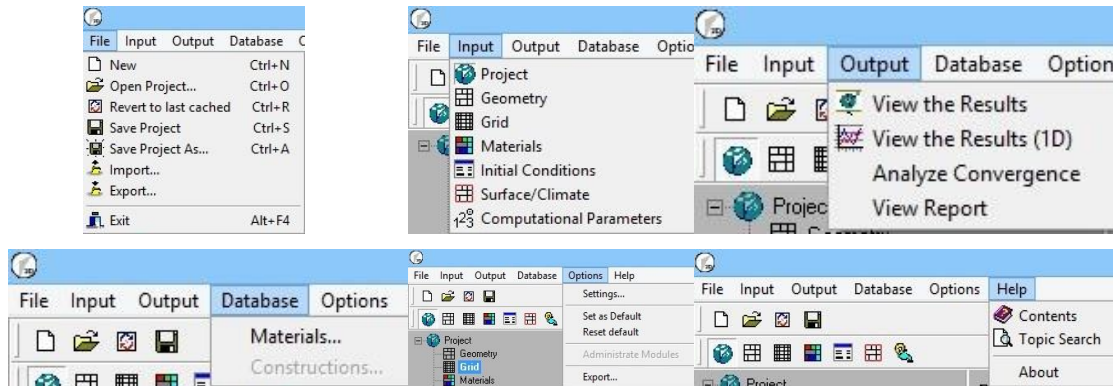


Fig.5.2. – Comandos da janela principal

Desta forma e expondo os comandos e ferramentas da janela principal do programa de cálculo WUFI 2D, mostra-se de seguida os passos e a respetiva definição para proceder à execução de simulações.

5.7.2. GEOMETRIA DO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

É no item da geometria que se desenha e se define a estrutura do elemento a ser estudada na simulação. Os elementos são inseridos manualmente, ou seja, definiu-se por células mas como são pouco rigorosas, as dimensões e a disposições são editáveis e possíveis de quantificar.

Neste caso pretendesse simular um elemento construtivo com 4 cm de espessura por 16 cm de altura. Desenha-se a figura e, ajustando os eixos ortogonais de referência (x e y) e inserem-se as dimensões pretendidas (Fig.5.3.).

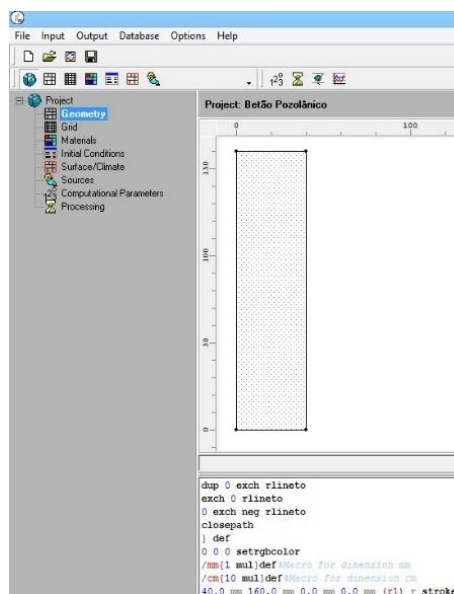


Fig.5.3. – Geometria do elemento de construção

5.7.3. MALHA

No parâmetro da malha pode-se atribuir o número mínimo e máximo dos elementos tanto na direção x bem como na direção y. Ao introduzir o número de elementos da malha o programa gera automaticamente a grelha e fornece a dimensão dos seus elementos. Contudo também é passível de ser alterada a malha modificando dentro da própria definição do elemento segundo a direção pretendida podemos optar por uma grelha mais precisa ou uma mais simples (Fig.5.4.).

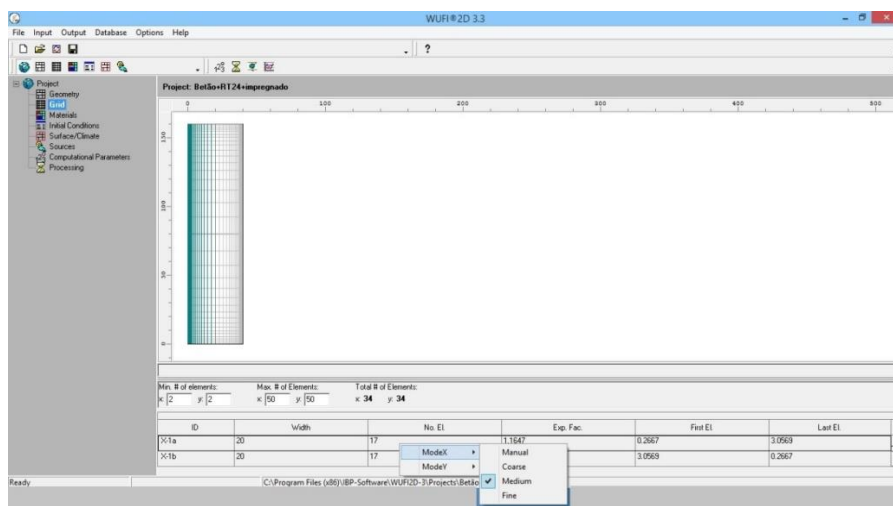


Fig.5.4. – Adaptação da malha

Dependendo do detalhe que se pretende ter do elemento, tem de se proceder a um reajuste da malha definida por qualquer caminho anteriormente indicado.

É nas múltiplas ligações do cruzamento da malha que o material de construção é avaliado, logo quanto menor for a malha maior será a precisão e definição dos resultados. A solução considerada, para uma tradução clara do estudo foi um total máximo foi 50 na direção x e os mesmos 50 na direção y (Fig.5.5.).

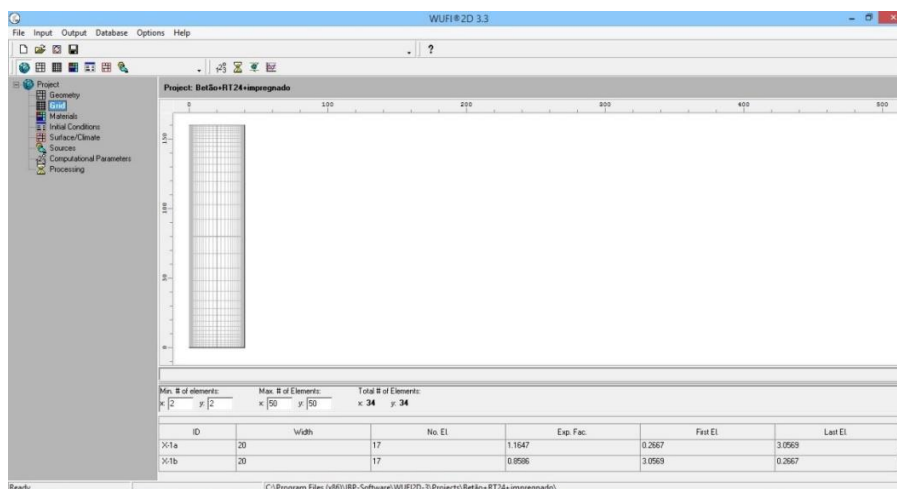


Fig.5.5. – Malha selecionada

5.7.4. MATERIAIS

Para as simulações efetuadas os materiais escolhidos podem ter duas vertentes: atribuir um material já existente na base de dados do programa de cálculo ou proceder à criação de um novo material com as propriedades que se deseja. Os materiais apresentam um conjunto de propriedades apresentadas no quadro anteriormente (Quadro 5.2.).

5.7.4.1. Material disponível na base de dados do programa

Para seleccionar um material de construção disponível na base de dados do programa deve-se seleccionar o elemento definido na geometria e abre-se uma nova janela automaticamente.

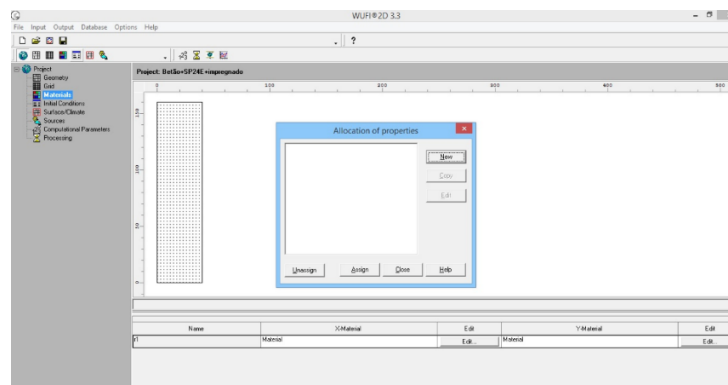


Fig.5.6. – Seleção de material

Selecionando a opção atribuir novo material (Fig.5.6.) surge uma janela (Fig.5.7.) em que tendo em conta a fonte e o catálogo desejado é possível seleccionar o elemento de construção pretendido, com as características desse material evidenciadas sendo estas o peso específico, a porosidade, o calor específico, a condutibilidade térmica do material seco, o fator de resistência à difusão de vapor, as curvas higroscópicas, os coeficientes de transporte líquido e a influência do teor de humidade na condutibilidade térmica e no fator de resistência à difusão do vapor. Em alguns dos materiais que constam na base de dados do programa é possível ver algumas notas relacionadas com o material em questão.

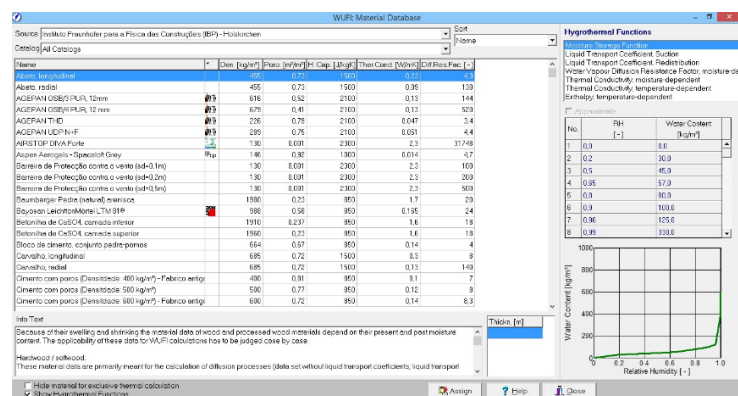


Fig.5.7. – Propriedades na seleção de materiais

Escolhendo o material que se pretende e seleccionando a opção “Assign” o programa atribui ao elemento de construção representado, no parâmetro da geometria, o material escolhido. Após a atribuição do material este pode ser editado sem alterar a base de dados do programa (Fig.5.8.).

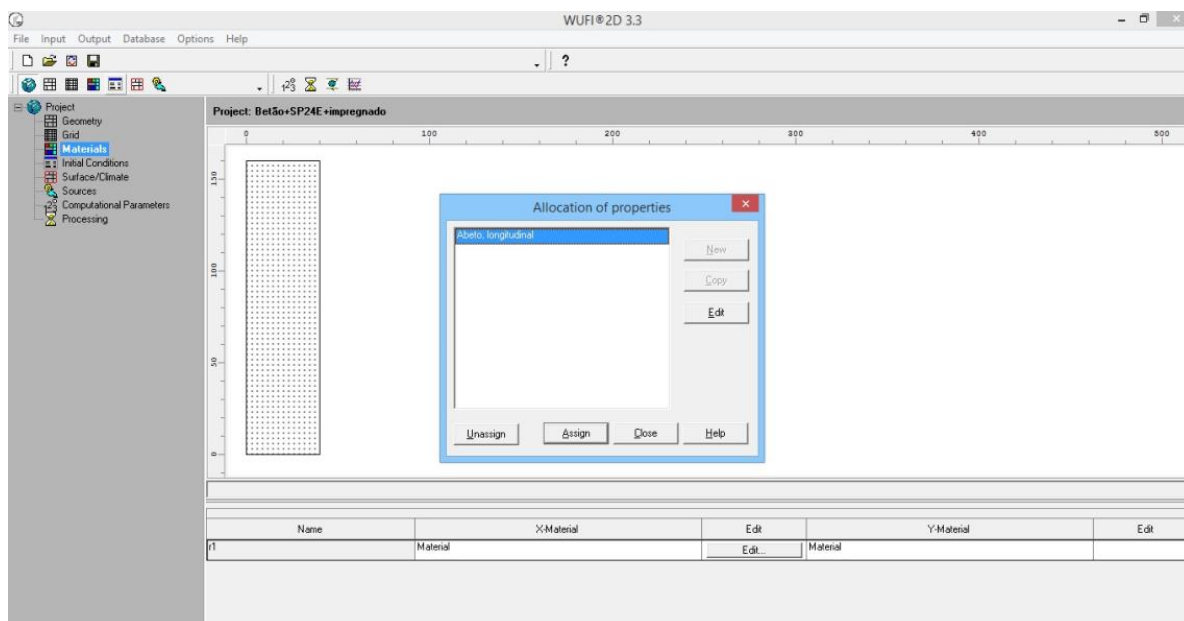


Fig.5.8. – Atribuição do material de construção

5.7.4.2. Criação de material no programa

Por vezes, o programa de cálculo não dispõe na sua bibliografia o material pretendido, com características específicas pelo que torna-se fundamental a definição de um novo material no programa.

Seleccionando o comando de base de dados “database” e na opção de materiais surge uma nova janela (Fig.5.9.). Como se pode observar é possível editar um catálogo ou criar um novo material, o programa permite na fonte atribuir o material ao grupo de definidos pelo utilizador tornando-o facilmente identificável.

WUFI: Material Database Editor						
New Change Delete Edit catalog						
Source	Instituto Fraunhofer para a Física das Construções (IBP) - Holzkirchen					Sort
Catalog	Betão e pavimentos					Name
Name	*	Den. [kg/m³]	Por. [m³/m³]	H. Cap. [J/kgK]	Ther.Cond. [W/mK]	Diff.Res.Fac. [-]
Betonilha de CaSO4, camada inferior		1910	0.237	850	1.6	18
Betonilha de CaSO4, camada superior		1960	0.23	850	1.6	18
Cimento, C12/15		2200	0.18	850	1.6	92
Cimento, C35/45		2220	0.18	850	1.6	248
Cimento, w/c=0.5		2300	0.18	850	1.6	180
Placa de cimento, camada inferior		1990	0.175	850	1.6	99
Placa de cimento, camada intermédia		1970	0.177	850	1.6	69
Placa de cimento, camada superior		1890	0.2	850	1.6	58

Fig.5.9. – Janela para implementar de um novo material

Posteriormente, e se prosseguirmos para a criação de um novo material surge uma nova janela (Fig.5.10.), nesta é possível proceder a identificação do material e das suas propriedades fundamentais e ainda outros parâmetros aproximados

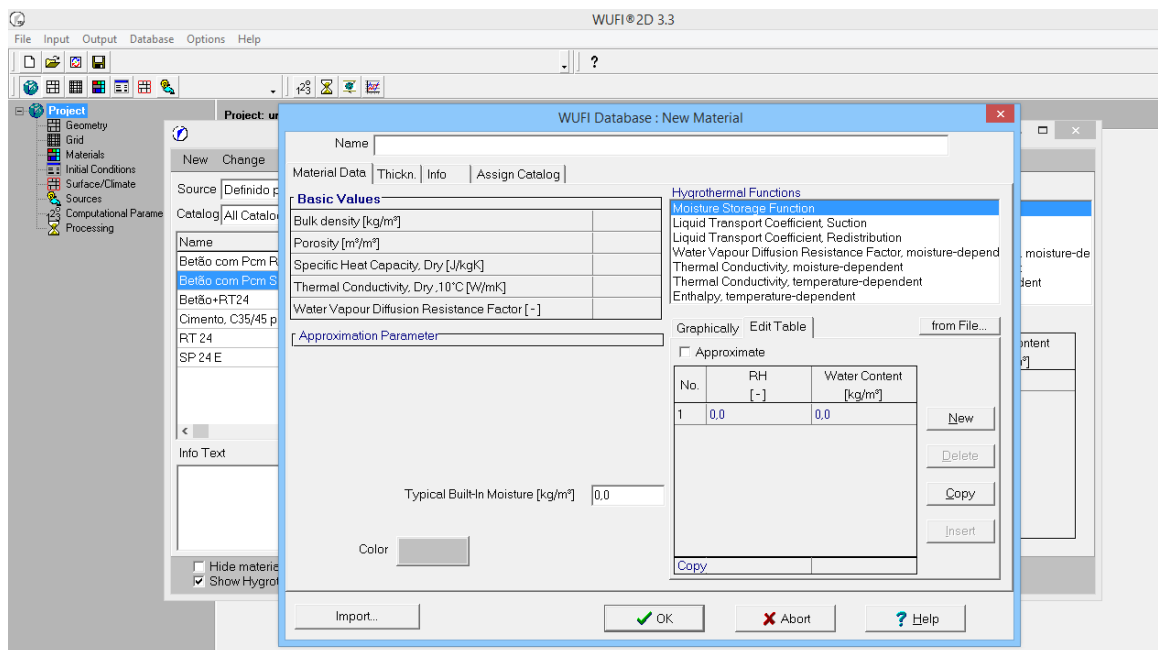


Fig.5.10. – Janela para definição de novo material

Definindo o material, automaticamente este aparece na lista de definidos pelo utilizador (Fig.5.11.).

WUFI: Material Database Editor							
New Change Delete Edit catalog							
Source	Definido pelo utilizador						Sort
Catalog	All Catalogs						Name
Name	*	Den. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	H. Cap. [J/kgK]	Ther. Cond. [W/mK]	Diff. Res. Fac. [-]	
Betão com Pcm RT24 impregnado		2004	0.345	1195	1.3	370	
Betão com Pcm SP24 impregnado		2004	0.345	1195	1.3	70.03	
Cimento, C35/45 poroso		2220	0.45	850	1.6	100	
RT 24		1500	0.1	2000	0.6	1000	
SP 24 E		1500	0.1	2000	0.6	0.1	

Fig.5.11. – Lista de materiais definidos pelo utilizador

5.7.4.3. Definição de materiais de mudança de fase no programa

No âmbito deste estudo foram utilizados materiais de mudança de fase, estes não existem no catálogo disponibilizado pelo programa WUFI 2D deste modo foi necessário proceder à sua criação na base de dados. Para isso e tendo por base os dados facultados pela Rubitherm GmbH [59] caracterizou-se o PCM RT24 e o PCM SP24 definiu-se a curva de entalpia (Fig.5.12 / Fig.5.13.).

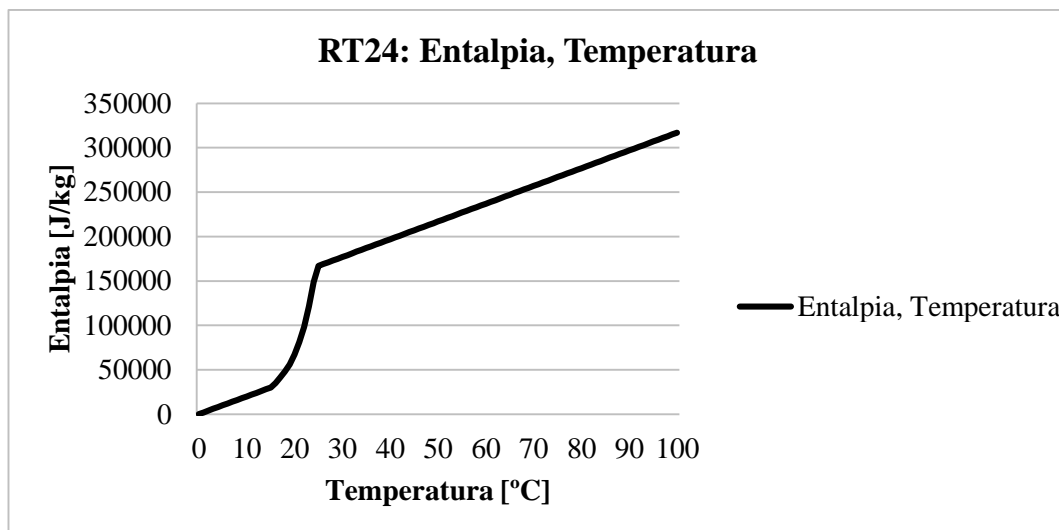


Fig.5.12. – Curva representativa da entalpia de PCM RT24

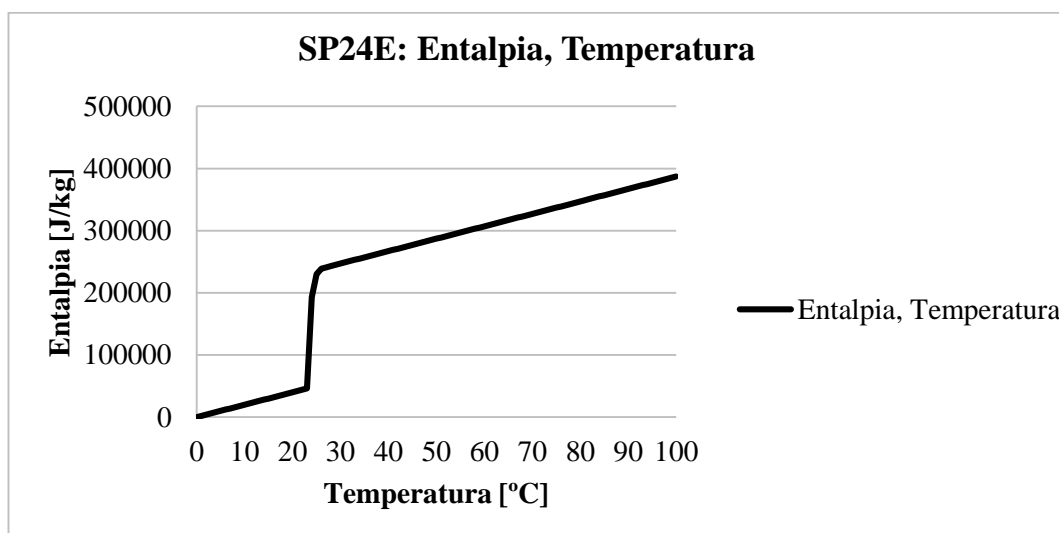


Fig.5.13. – Curva representativa da entalpia de PCM SP24E

Contudo os materiais de mudança de fase não serão utilizados na sua globalidade mas apenas percentagem desse, impregnada noutro material de construção, como nos resultados obtidos na campanha laboratorial. Desta forma e para aproximar o programa de cálculo à campanha experimental procedeu-se a transformação de alguns parâmetros do material.

5.7.4.4. Materiais utilizados na simulação

Os materiais utilizados na simulação são os materiais constantes da figura (Fig.5.11.). Utilizou-se o “betão com PCM RT24 impregnado” e o cimento, C35/45 poroso”, este último para retratar o betão pozolânico sem PCM RT24 incorporado. Os materiais de mudança de fase foram definidos segundo características conhecidas e facultadas pela empresa contudo algumas propriedades eram desconhecidas como a porosidade e o fator de resistência a difusão de vapor de água. Os PCM abaixo da temperatura de fusão estão sólidos e acima estão líquidos então considerou-se uma porosidade

baixa $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ já o fator de resistência a difusão ao vapor de água para a parafina RT24 é elevado enquanto que para o sal hidratado, SP24E, é um valor baixo. No programa o material de construção cimento C35/45 possuía uma porosidade baixa então para aproximar aos provetes da campanha experimental editou-se o material, de forma anteriormente apresentada, e elevou-se a porosidade para $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Os materiais de construção utilizados com PCM incorporados resultaram uma relação de 70% de material de construção e 30% de cada material de mudança de fase, salienta-se que nunca se atingiu este valor nos ensaios, esta divisão surge porque a campanha experimental e a análise numérica foram realizadas em simultâneo devido ao tempo disponível para a concretização deste estudo.

5.7.5. CONDIÇÕES INICIAIS

O programa de cálculo considera, por defeito, como condições iniciais uma temperatura de 20°C e uma humidade relativa de 80%, ou seja, os valores que os provetes têm a partida (Fig.5.14.), valores estes que podem ser alterados, se necessário e são iguais em todos os materiais. Se a temperatura e humidade relativa forem constantes, apenas se introduzem os valores [1].

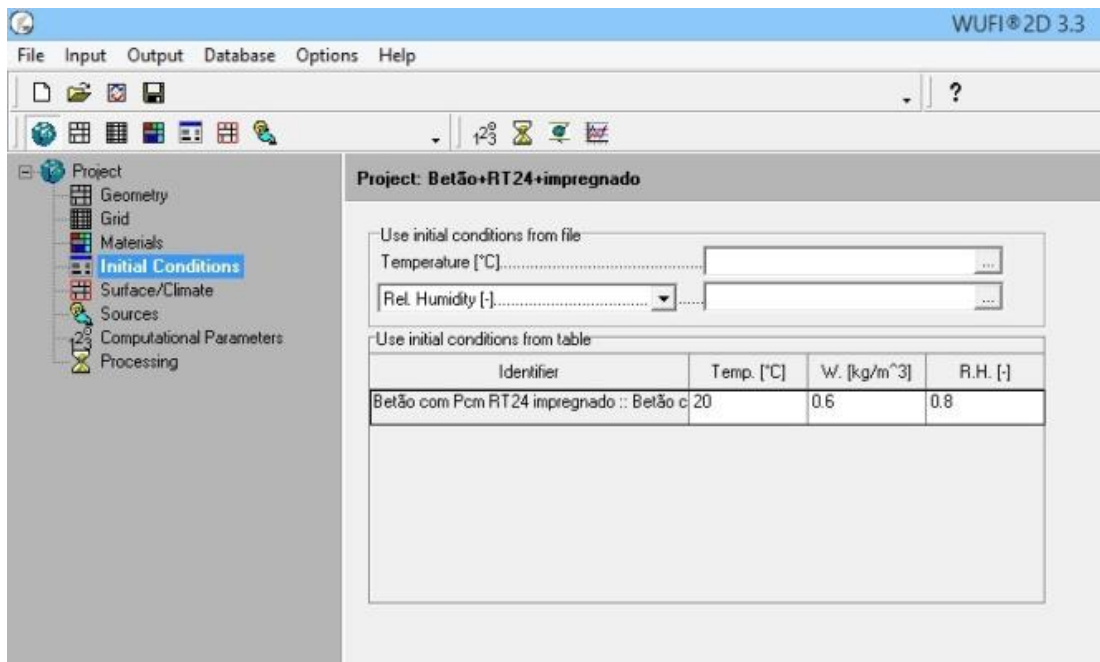


Fig.5.14. – Condições iniciais

5.7.6. CONDIÇÕES DE FRONTEIRA E CLIMA

O passo seguinte para a simulação é a definição das condições de fronteira nas interfases do elemento de construção em estudo.

Pretende-se, com o WUFI 2D, analisar o comportamento dos elementos de construção expostos às condições climáticas ambientes do Laboratório de Física das Construções, introduzindo dessa forma a temperatura média e humidade relativa registadas. Contudo é possível, simular um clima predeterminado ou um clima conhecido de uma dada localização. O programa gera automaticamente uma onda sinusoidal para a temperatura e outra para a humidade relativa, que simulam o clima interior.

Para o clima predeterminado o essencial a definir e a caracterizar no parâmetro das condições climáticas foi as condições que se verificaram no Laboratório de Física das Construções a fim de tecer eventuais comparações entre o modelo matemático e o modelo protótipo e puder desta forma obter confiança nos resultados obtidos.

O programa contém um conjunto de cidades em que em as condições climáticas são conhecidas, em diferentes localizações assim sendo e para caracterizar situações reais exportamos para o programa WUFI 2D ficheiros climáticos recolhidos ao longo do tempo. Foram alvo desse mecanismo as cidades de Bragança, Porto, Lisboa e Beja.

Salienta-se que na interfase da base do material de construção é necessário fornecer ao programa uma humidade relativa de 100% para simular a existência de água.

Admitiu-se ainda que o fator de absorção da chuva é nulo, considerando que os efeitos possíveis de chuva incidente numa superfície salpicam e não contribui para a absorção capilar. Limitou-se à base os efeitos de capilaridade.

Selecionando uma das fases, neste caso a face representativa da base surge no ecrã uma nova ferramenta para alocar uma propriedade climática (Fig.5.15.), validamos a opção de nova propriedade e imediatamente surge atribuída à fase selecionada embora isenta de qualquer propriedade (Fig.5.16.). Desta forma será editada a fim de lhe atribuir características pretendidas.

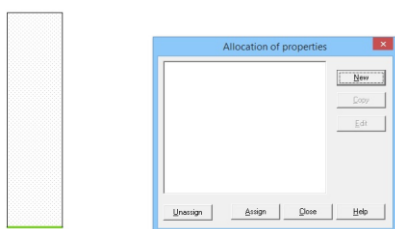


Fig.5.15. – Condições de fronteira na interface

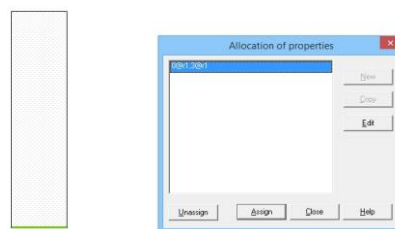


Fig.5.16. – Atribuição de condição de fronteira

Quando escolhemos a opção editar imediatamente aparece um novo comando (Fig.4.17.), neste podem ser definidas algumas características como o coeficiente de transmissão térmico, para que o programa considere existência da troca de calor e humidade. Sendo necessário definir o clima predefinido selecionamos essa mesma opção, de clima e ativámos a ferramenta para procurar (Fig.4.18.).

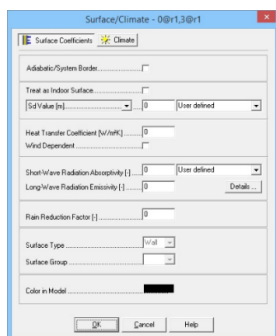


Fig.5.17. – Seleção de condições de fronteira

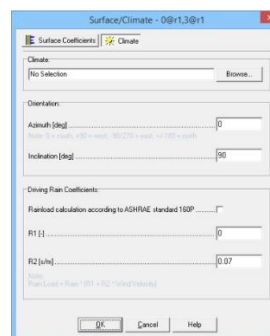


Fig.5.18. – Seleção de condições de fronteira

Surge no ecrã a representação gráfica (Fig.5.19.) embora ainda desprovida de dados, como pretendemos adicionar um ficheiro climático escolheu-se a opção procurar e seleccionar um ficheiro definido pelo utilizador.

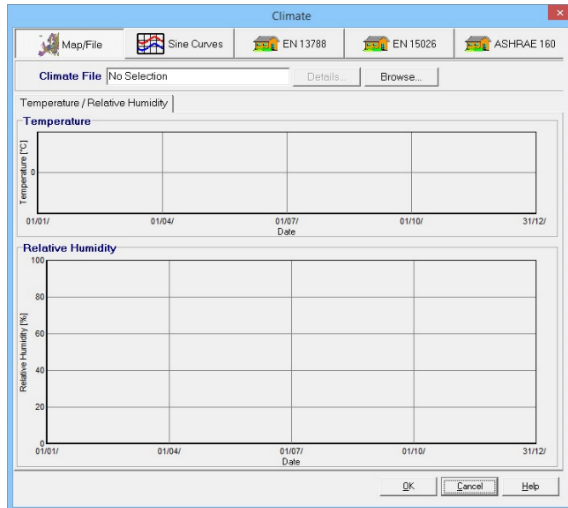


Fig.5.19. – Seleção das condições de fronteira

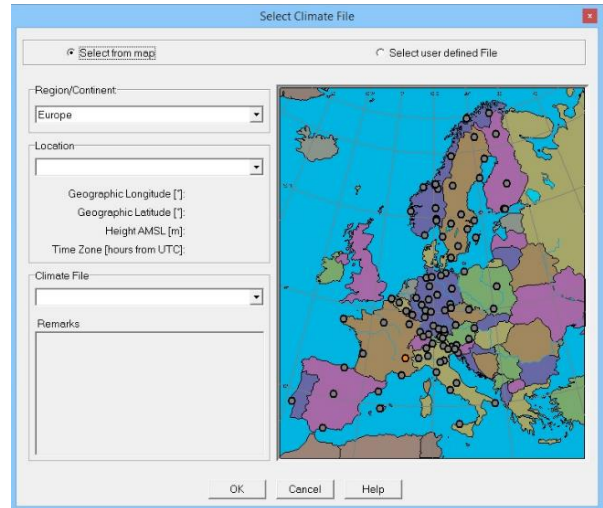


Fig.5.20. – Seleção das condições de fronteira (mapa)

Selecionando a opção de um clima definido pelo utilizador o ficheiro procura-se o correspondente ficheiro pretendido.

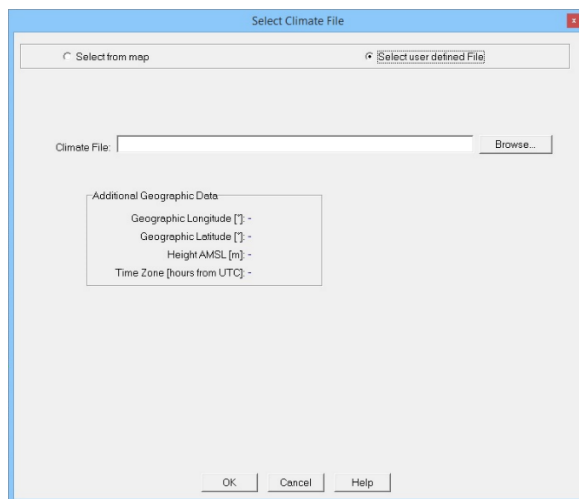


Fig.5.21. – Procura de ficheiro climático

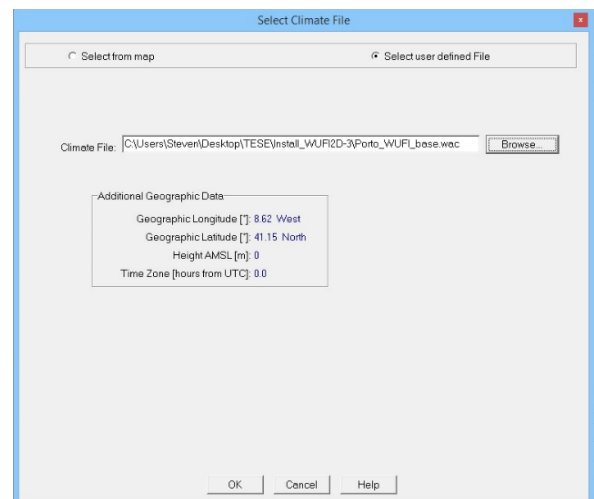


Fig.5.22. – Seleção de ficheiro climático

O programa de cálculo WUFI 2D não suporta ficheiros de dados climáticos no formato .dat, por exemplo. Surge a necessidade de converter o ficheiro para uma extensão compatível com o programa de simulação.

A conversão dos parâmetros climáticos foi realizada com o apoio de uma ferramenta de nome “createclimatefile.xls”, esta comporta numa folha de excel programada por “Fraunhofer Institute in Building Physics” (IBP) (Fig.5.23.).

Year	Month	Day	Hour	cumul. Hour	Wind Direction [°] north = 0, clockwise	Wind Speed [m/s] Skalar Average	Wind Speed [m/s] Vector Average	Rain [Ltr/m²h] Measured Rain	Air Pressure [hPa] At Station Height	Temperature [°C] Air Temperature	Air Humidity Rel. Humidity [0..1]	Radiation [W/m²] Solar Direct Horiz
1	1	1	1	1	173	1.8	1.7	1.8	1010.7	14.7	0.83	0
1	1	1	2	2	207	1.4	1.4	0	1010.7	14.9	0.68	0
1	1	1	3	3	204	1.2	1.2	0.1	1010.7	14.7	0.66	0
1	1	1	4	4	265	1.4	1.4	0	1010.7	14.6	0.66	0
1	1	1	5	5	218	1.4	1.4	0	1010.7	14.5	0.65	0
1	1	1	6	6	207	1.6	1.6	0	1010.7	14.4	0.67	0
1	1	1	7	7	231	1.3	1.3	0	1010.7	14.3	0.65	0
1	1	1	8	8	237	1.9	1.8	0	1010.7	14.3	0.64	0
1	1	1	9	9	214	1.7	1.6	0	1010.7	14.4	0.65	0
1	1	1	10	10	253	3.3	3.2	0	1010.7	14.6	0.64	0
1	1	1	11	11	140	2.6	2.5	0	1010.7	16.4	0.54	76
1	1	1	12	12	226	2.6	2.5	0	1010.7	17.6	0.5	67
1	1	1	13	13	190	3.1	3	0	1010.7	18.5	0.48	90
1	1	1	14	14	148	3.6	3.5	0	1010.9	18.7	0.46	14
1	1	1	15	15	190	2.8	2.7	0	1011.1	18.8	0.47	26
1	1	1	16	16	221	4.2	4.1	0	1011.3	18.5	0.5	4
1	1	1	17	17	126	3.1	3	0.2	1011.5	17.9	0.65	0
1	1	1	18	18	200	3.6	3.5	0.3	1011.7	17.2	0.79	0
1	1	1	19	19	187	2.6	2.5	0.6	1011.9	16.7	0.79	0
1	1	1	20	20	191	2.8	2.7	0	1012.1	16.2	0.83	0

Fig.5.23. – Excerto folha de excel “createclimatefile.xls” para a cidade do Porto

O ficheiro excel proporciona a conversão de dados para o formato .wac e .kli, estes posteriormente serão aceites pelo programa. Optou-se pela extensão .wac (Fig.5.24.).

```

WUFI®_WAC_02
10 Line Offset to 'Number of Data Columns'
Porto
Dados horários (WUFI)
-8.62 Longitude [°]; East is positive
41.15 Latitude [°]; North is positive
0 HeightAMSL [m]
0.0 Time Zone [h from UTC]; East is positive
1 Time Step [h]
8760 Number of DataLines
3 Number of DataColumns
TA HREL RN
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100
20 1 100

```

Fig.5.24. – Excerto do ficheiro .wac para interface da base do elemento construtivo

Tendo presente o ficheiro que traduz a implementação de água na base o próximo passo é dotar o elemento de construção desse atributo, bem como atribuir a esse elemento as condições de laboratório nas restantes interfaces.

Tendo seleccionado o ficheiro corresponde para a base na figura (Fig.5.22.) e validando essa atribuição surge a representação gráfica, na figura (Fig.5.25.) que traduz o comportamento da humidade relativa e temperatura desse elemento (Fig.5.26.).

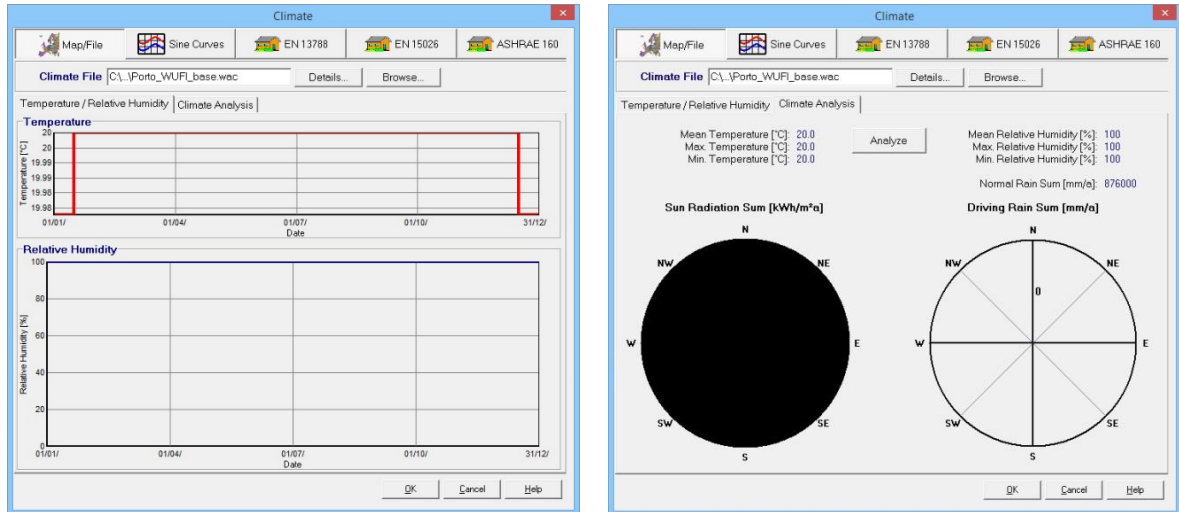


Fig.5.25. – Dados climáticos da base do elemento de construção

Ao inserir o ficheiro que traduz a água na base comprovamos desta forma a sua humidade relativa de 100%, validando sucessivamente e seleccionando duas vezes em cima do nome atribuído automaticamente é possível alterar esse nome passando a ser denominado de base.

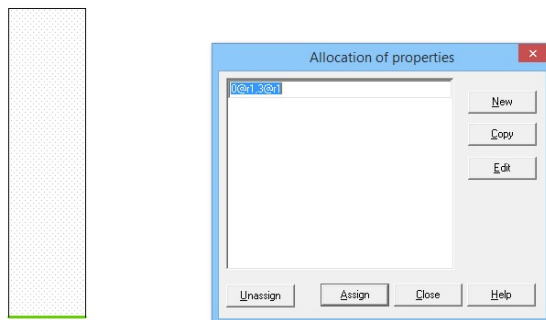


Fig.5.26. – Definição de clima e mudança de nome

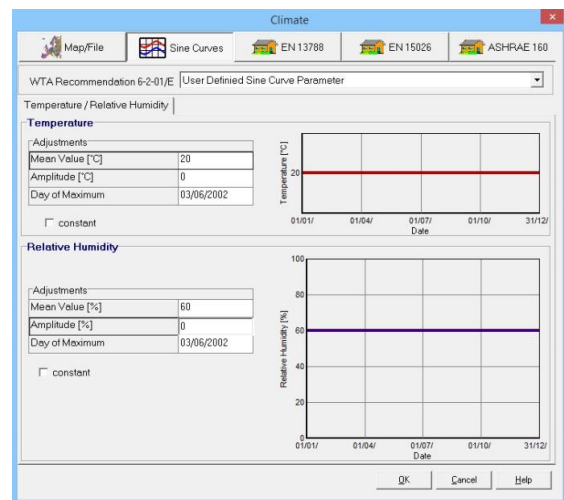


Fig.5.27. – Dados climáticos restantes faces

Para adicionar outro ambiente climático às restantes fases repete-se o processo mas desta feita em vez de adicionar um ficheiro de mapa climático vamos inserir valores de temperatura e humidade relativa semelhantes às registadas aquando da campanha laboratorial sendo assim e para uma amplitude nula atribui-se à temperatura o valor de 20°C e 60% de humidade de relativa resultando assim a

representação gráfica expressa na figura (Fig.5.27.), validando para todas as fases resulta no processo expresso na figura (Fig.5.28.).

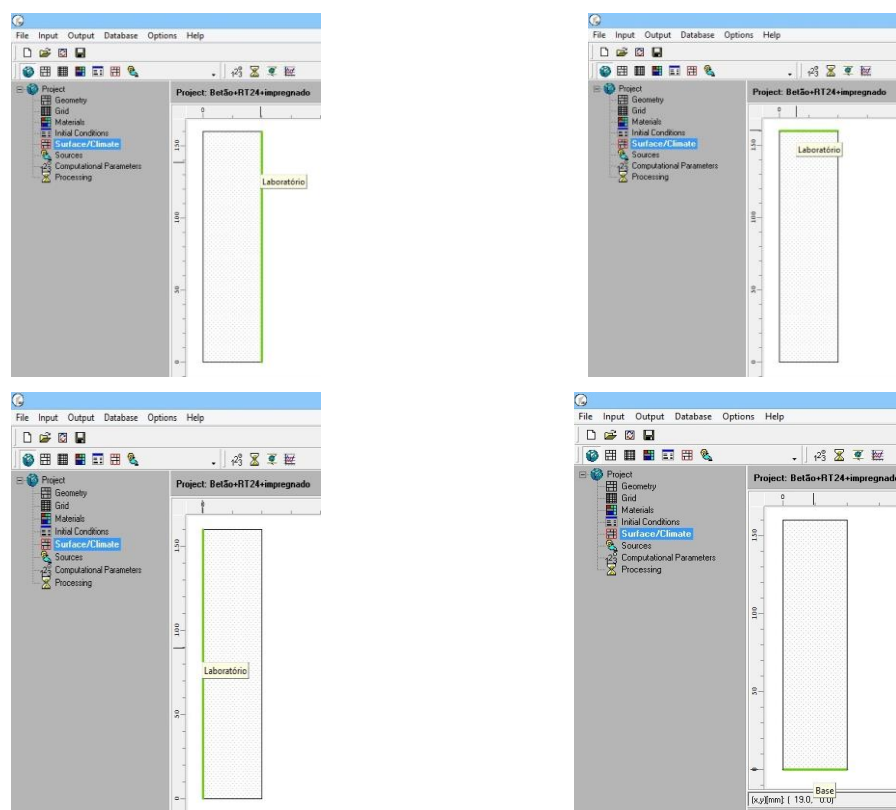


Fig.5.28. – Definição de dados climáticos para as faces

5.7.7. FONTES

No parâmetro das fontes, ou “sources” é possível atribuir ao elemento uma fonte específica de humidade, de calor, ou de renovação de ar (Fig.5.29.). Neste estudo não consideram fontes suplementares.

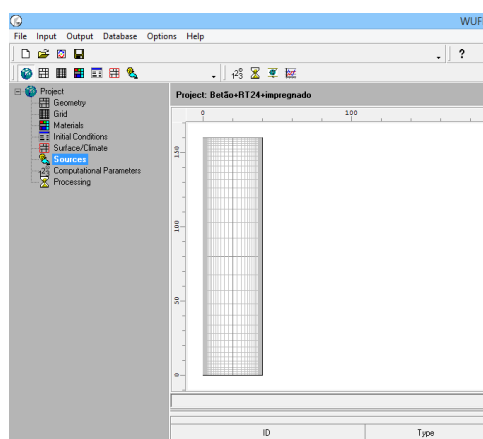


Fig.5.29. – Implementação de fontes

5.7.8. PARÂMETROS COMPUTACIONAIS DE CÁLCULO

O item de parâmetros computacionais é composto por duas secções: a “simple” (Fig.5.30.) e a “enhanced” (Fig.5.31.).

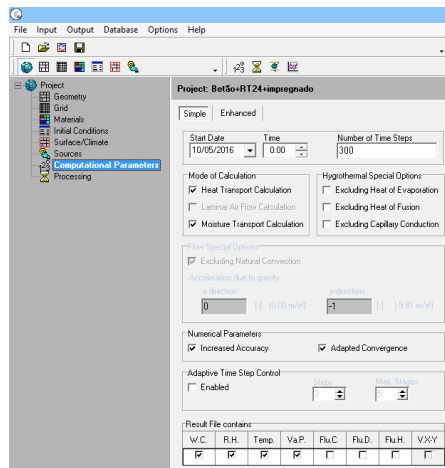


Fig. 5.30. – Parâmetros computacionais “simple”

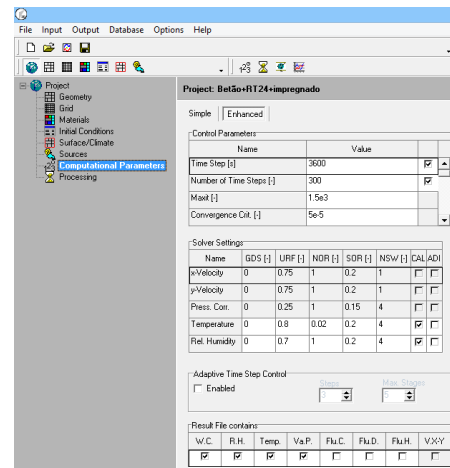


Fig.5.31. – Parâmetros computacionais “enhanced”

Na secção “simple” é possível definir a data de início, o número de passos de avaliação e permite ainda controlar o modo como o cálculo se realiza. É possível, por exemplo, escolher determinadas opções higrotérmicas como excluir o calor latente, de evaporação e de fusão ou ainda nos parâmetros numéricos obter uma maior precisão ou uma convergência adaptada no caso de ocorrência de falhas numéricas. A secção “enhanced” é editada por utilizadores experientes no programa de cálculo.

5.7.9. CÁLCULO

Encontra-se neste momento concluída a introdução de dados necessários á execução de simulações, para isso e no comando “processing” dá-se início ao cálculo. Este é iniciado e na janela visualiza-se a evolução do cálculo ao longo do tempo e onde é possível parar a simulação ou cancelar, se assim se entender (Fig.5.32.).

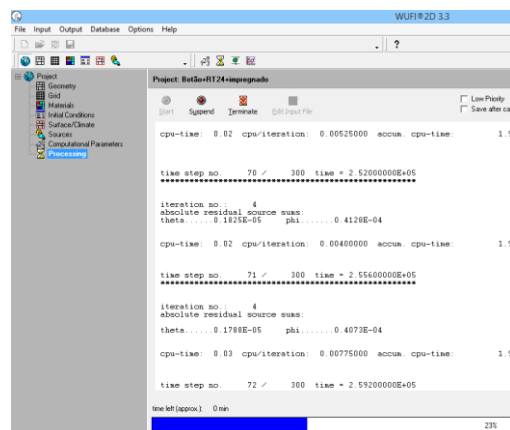


Fig.5.32. – Cálculo a decorrer

A barra de evolução do cálculo possibilita estimar o tempo que falta para o término do processo. A rapidez do cálculo depende dos critérios numéricos definidos e do processador. Quanto mais densa sobre a malha, mais lento será o seu processo de cálculo. É possível ainda visualizar à medida que o cálculo decorre o calendário, as etapas e iterações [1].

5.7.10. RESULTADOS OBTIDOS

Concluído o cálculo surge uma mensagem se quisermos obter análise geral no problema (Fig.5.33.). No comando “output” é possível observar os resultados resultantes da simulação numa nova janela.

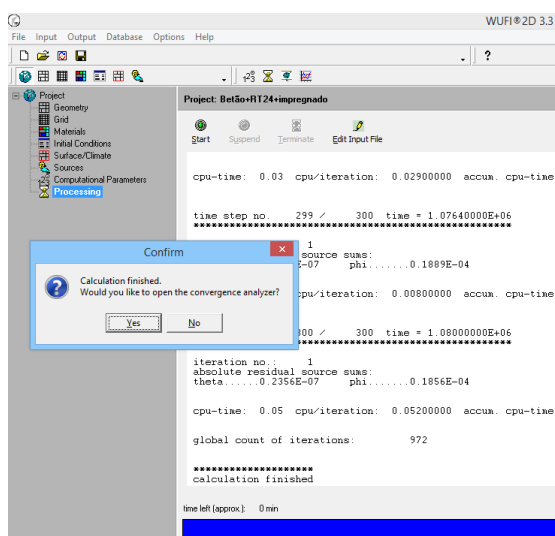


Fig.5.33. – Cálculo terminado

De entre os vários resultados que o programa apresenta os mais relevantes no âmbito deste estudo são as representações do teor de água [kg/m^3] e a humidade relativa [-]. Por observação das figuras seguintes verifica-se o comportamento distinto do material de construção betão pozolânico com e sem PCM RT24 impregnado. Verifica-se uma diferença do teor de água na ordem de 71% a 73%.

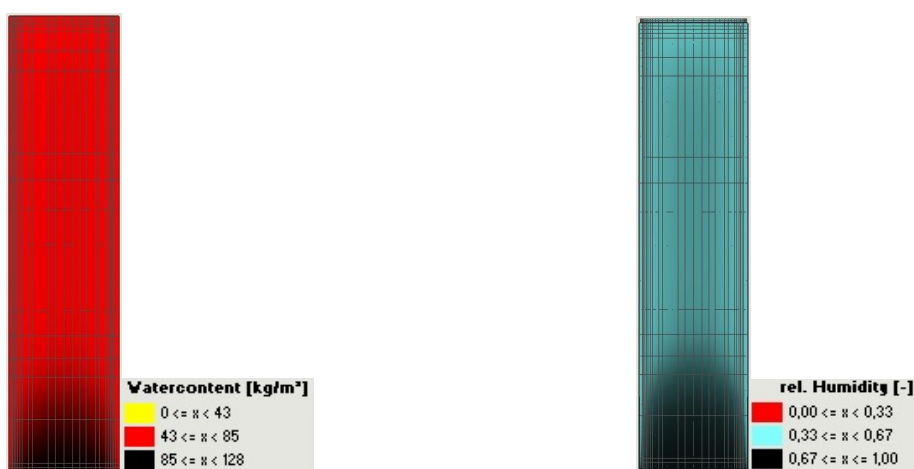


Fig.5.34. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico (laboratório)

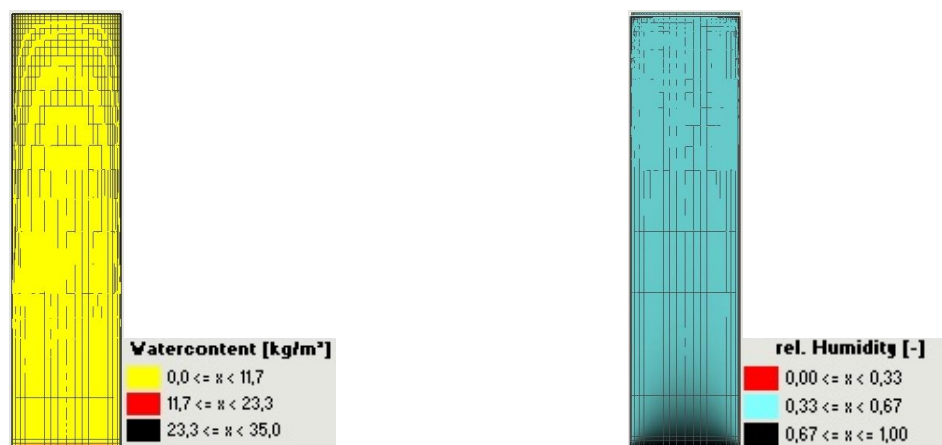


Fig.5.35. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (laboratório)

5.8. SIMULAÇÕES NO PROGRAMA DE CÁLCULO WUFI 2D: CIDADES

Da mesma forma que foi realizada a simulação numérica para as condições no laboratório: betão pozolânico sem PCM (Fig.4.34.) e betão pozolânico com RT24 incorporado (Fig.4.35.) serão realizadas simulações para a cidade de Bragança, Porto, Lisboa e Beja, extrapolando os resultados na para a sua utilização no quotidiano.

5.8.1. CASO: CIDADE DE BRAGANÇA

Para a cidade de Bragança obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico sem material de mudança de fase incorporado (Fig.5.36.).

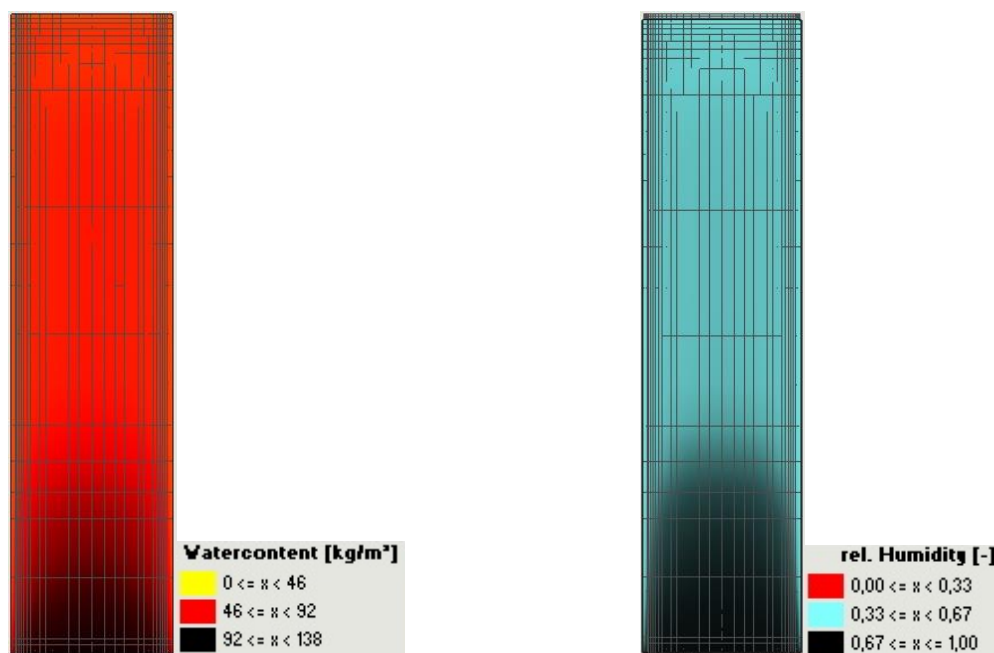


Fig.5.36. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade de Bragança)

Obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico com material de mudança de fase RT24 incorporado para a cidade de Bragança (Fig.5.37). Verifica-se uma diferença do teor de água na ordem de 41% a 43%.

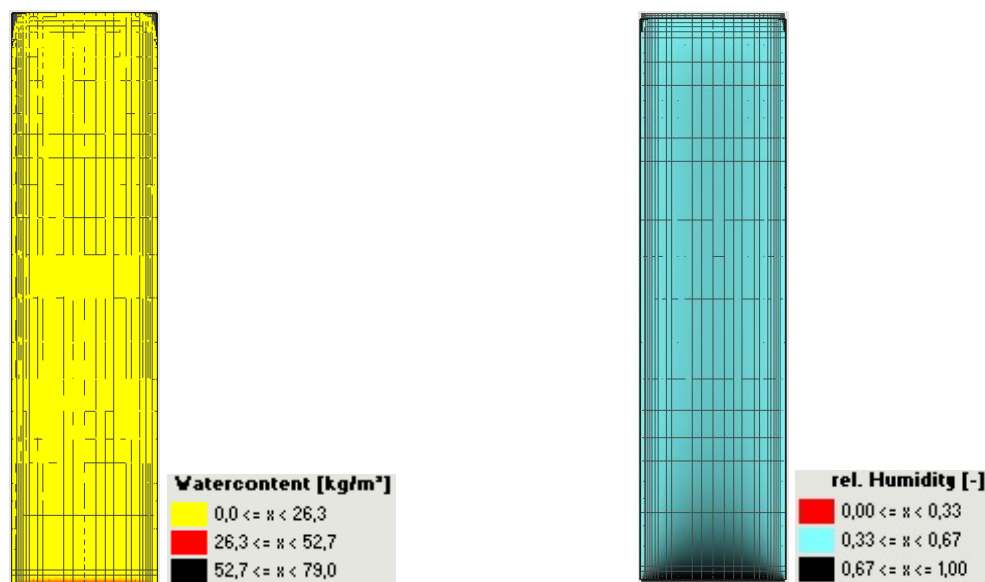


Fig.5.37. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade de Bragança)

5.8.2. CASO: CIDADE DO PORTO

Para a cidade do Porto obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico sem material de mudança de fase incorporado (Fig.5.38.).

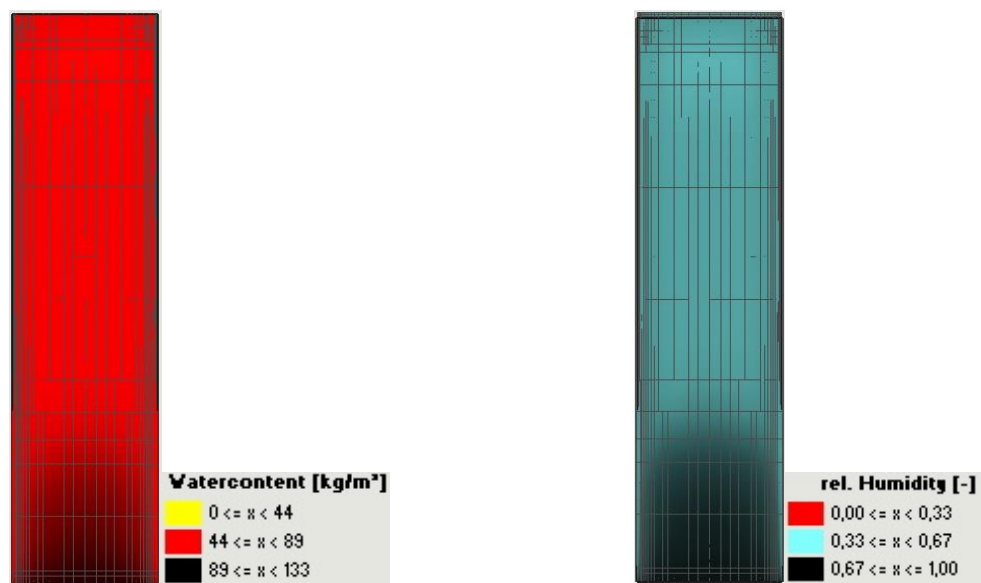


Fig.5.38. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade do Porto)

Obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico com material de mudança de fase RT24 incorporado para a cidade do Porto (Fig.5.39). Verifica-se uma diferença do teor de água na ordem de 61% a 63%.

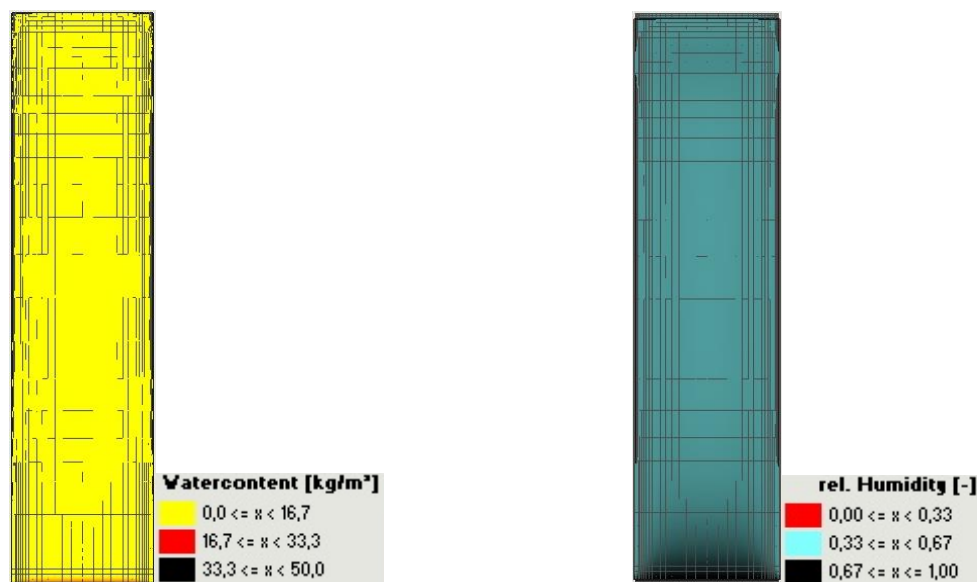


Fig.5.39. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade do Porto)

5.8.3. CASO: CIDADE DE LISBOA

Para a cidade de Lisboa obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico sem material de mudança de fase incorporado (Fig.5.40.).

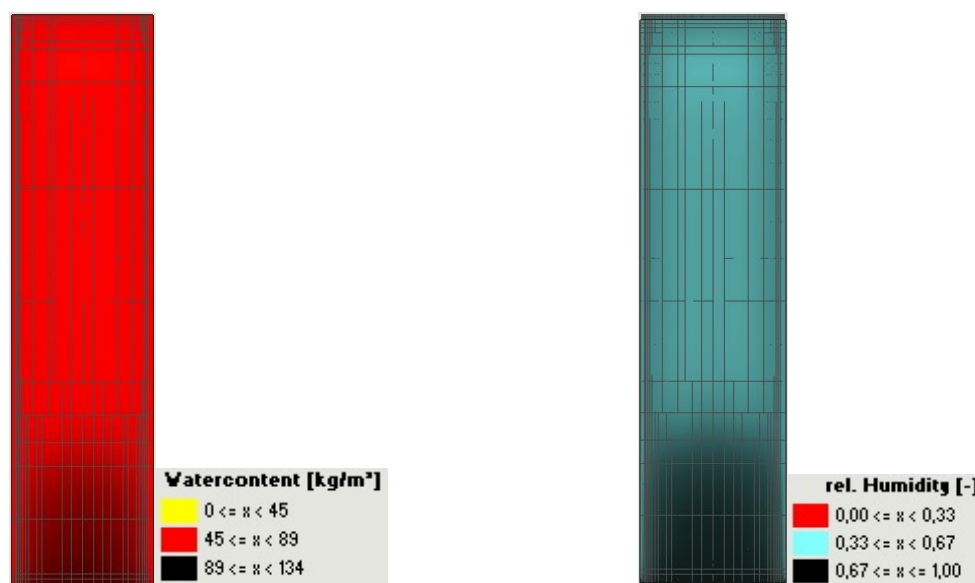


Fig.5.40. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade de Lisboa)

Obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico com material de mudança de fase RT24 incorporado para a cidade de Lisboa (Fig.5.41). Verifica-se uma diferença do teor de água na ordem de 60% a 62%.

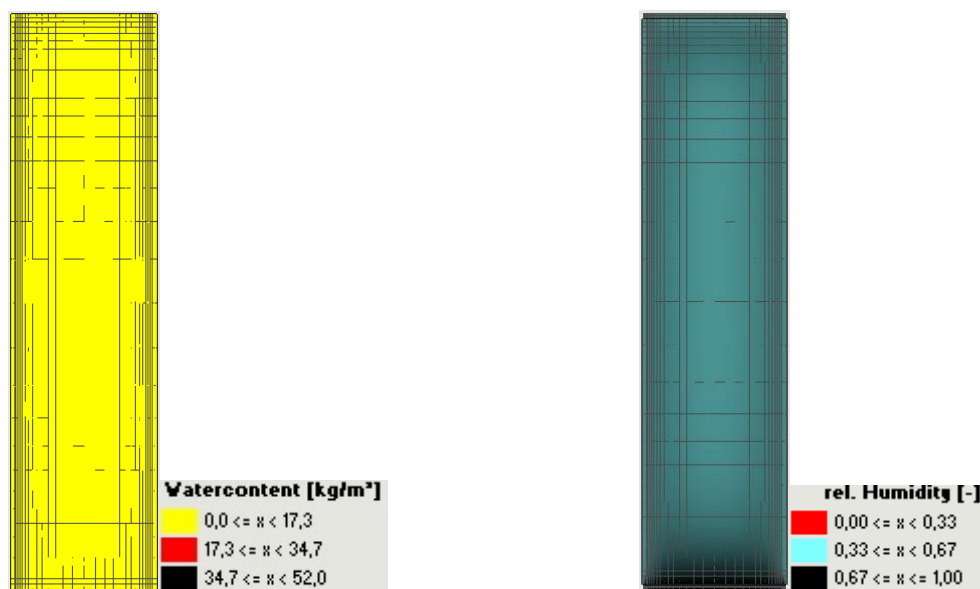


Fig.5.41. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade de Lisboa)

5.8.4. CASO: CIDADE DE BEJA

Para a cidade de Beja obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico sem material de mudança de fase incorporado (Fig.5.42.).

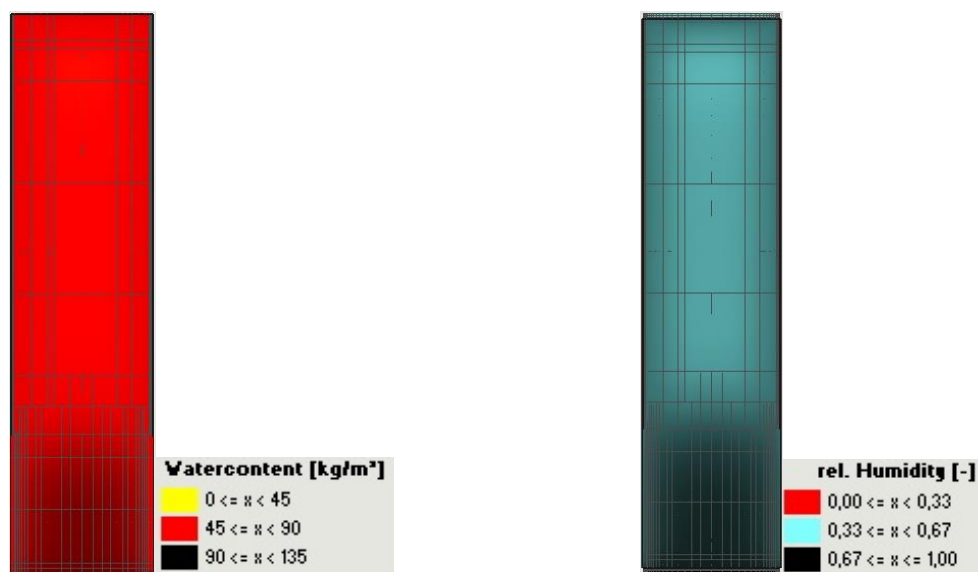


Fig.5.42. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico sem PCM incorporado (caso da cidade de Beja)

Obteve-se o seguinte comportamento do material betão pozolânico com material de mudança de fase RT24 incorporado para a cidade de Beja (Fig.5.43). Verifica-se uma diferença do teor de água na ordem de 53% a 55%.

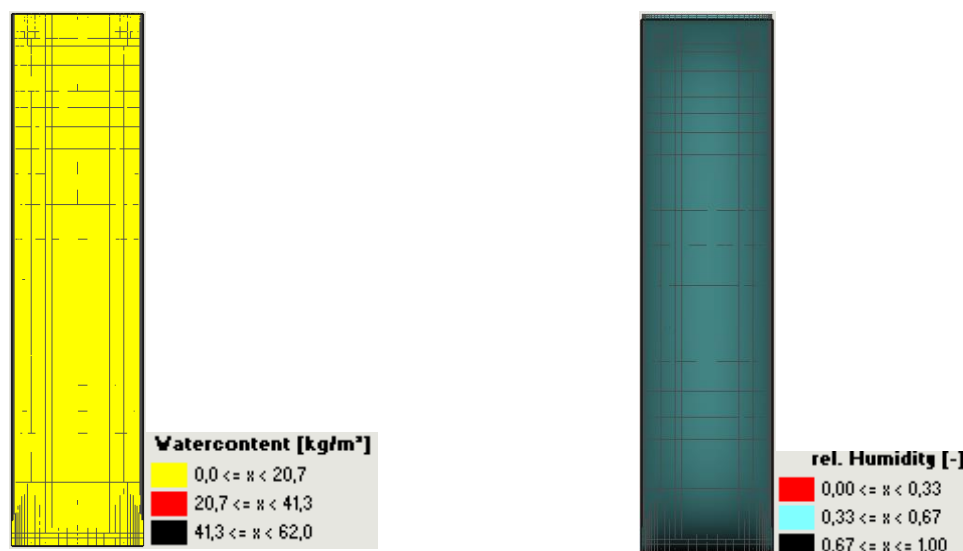


Fig.5.43. – Teor de água e humidade relativa do betão pozolânico com PCM RT24 incorporado (caso da cidade de Beja)

5.8.5. ANÁLISE CRÍTICA DE RESULTADOS

Diferentes localizações pressupõem distintos resultados embora não muito diferentes uns dos outros visto a proximidade geográfica.

É possível observar a influência favorável da impregnação de PCM RT24 nos distintos materiais de construção reduzindo essencialmente o teor em água.

Após a realização da campanha experimental e da análise numérica, em particular os provetes do material de construção betão pozolânico que foram testados em ambos os casos, pode afirmar-se que a implementação no programa de cálculo do material mudança de fase, que não existia no catálogo de materiais disponíveis pelo programa e era de difícil definição no programa de cálculo WUFI 2D foi realizada com sucesso, uma vez que os resultados obtidos na campanha laboratorial e no programa de simulação se aproximam. Pode afirmar-se que é possível submeter o programa de cálculo a mais análises com materiais de construção e materiais de mudança de fase alargando assim o campo de atuação desta análise.

5.9. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi exposto o método de funcionamento e os parâmetros usados pelo programa de cálculo WUFI 2D versão 3.3, com este programa, e após comparação das simulações numéricas com os resultados experimentais: a campanha experimental foi fundamental para ganhar confiança nos resultados obtidos por simulação numérica; observou-se, a partir da simulação numérica, a ascensão capilar de água nos provetes de betão pozolânico estudados.

A análise de resultados permite concluir que o PCM tem capacidade de limitar a ascensão capilar. Nos provetes de betão pozolânico conseguiu-se registar uma diferença de 71% a 73% de redução do teor de água com PCM face ao mesmo material de construção sem PCM, em condições laboratoriais.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

O trabalho concretizado ao longo desta dissertação permitiu observar e atingir o objetivo principal de avaliar se é possível utilizar os materiais de mudança de fase (PCM) no controlo de humidades ascensionais em elementos construtivos, constata-se que a aplicação do PCM RT24 manifesta um efeito benéfico na limitação da humidade ascensional.

Verificou-se que a incorporação da parafina, PCM RT24, nos distintos materiais de construção permitiu com sucesso limitar o fenómeno da humidade ascensional controlando a absorção de água por capilaridade. Foram estabelecidos vários objetivos parciais no trabalho, demarcados no início deste projeto, desenvolvidos nos diversos capítulos, para atingir o objetivo principal e a partir dos quais se sintetizam as principais conclusões do estudo desenvolvido.

O capítulo 2 permitiu a apresentação do estado da arte fundamentando este trabalho a nível da humidade ascensional, expondo vários temas, tais como:

- Introdução do fenómeno da humidade ascensional;
- Explicitação dos fatores que condicionam a referida humidade (porosidade, porometria, etc.);
- O correto diagnóstico de humidades ascensionais em paredes (compreender e explicar uma patologia);
- Apresentam-se ainda as técnicas de tratamento de humidades ascensionais conhecidas;

O capítulo 3 permitiu também a apresentação do estado da arte fundamentando este trabalho, desta feita a nível dos materiais de mudança de fase, expondo vários temas, tais como:

- Introdução de conceitos associado aos PCM;
- Identificação dos vários tipos de PCM, definidos ao nível do grupo (orgânico/inorgânico, etc.) e categoria (parafina, sal hidratado, etc.);
- Apresentam-se várias formas de incorporação de PCM em materiais de construção, tais como a imersão, impregnação e encapsulamento, e a sua introdução em elementos construtivos, desde tetos falsos a pavimentos radiantes.

No capítulo 4 procede-se à concretização de uma campanha experimental realizada em laboratório, com os objetivos seguintes:

- Introdução do âmbito do ensaio;
- São apresentados os materiais de construção e caracterização e distinção dos provetes de ensaio;

- Avaliação do peso seco dos provetes e a percentagem que se consegue impregnar de material de mudança de fase;
- Explica-se o ensaio realizado com base em procedimentos normativos e apresenta-se os resultados.
- Neste capítulo determina-se a capacidade que se consegue impregnar de PCM nos distintos materiais de construção tendo os provetes de betão pozolânico incorporado mais materiais de mudança de fase e os provetes de bloco acústico de betão menos.
- Na determinação das curvas e coeficientes de absorção capilar observa-se claramente o controlo benéfico que o PCM RT24 detém sobre os distintos materiais de construção.

O capítulo 5 permite a realização de uma simulação numérica no programa de cálculo WUFI 2D, com os objetivos seguintes:

- Procede-se à introdução ao programa e a uma contextualização do mesmo;
- Enumera-se outros programas higrotérmicos;
- Explica-se com detalhe o programa de cálculo, os seus comandos e dados necessários;
- Adicionam-se materiais de construção ao catálogo do WUFI 2D;
- Formula-se simulações indicando e demonstrando cada etapa da sua definição e caracterização, findando com os resultados obtidos;
- Observa-se a redução do teor em água causada pela impregnação de PCM RT24 no betão pozolânicos para diferentes cidades e para as condições ambientais do laboratório

Por último, deseja-se que os materiais de mudança de fase venham a ter um papel preponderante no futuro da construção sustentável, com o avanço tecnológico e industrial da produção de materiais construtivos.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No prosseguimento do trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação e tendo presente as limitações e dificuldades encontradas na fase da campanha experimental bem como no decorrer da simulação numérica realizada, apresentam-se algumas propostas para desenvolvimentos futuros:

- Comparação de resultados experimentais e numéricos obtidos com os resultados de outras ferramentas numéricas existentes no mercado (como o Humivent);
- Realização de campanhas experimentais e simulações numéricas noutros materiais de construção (como tijolo) e materiais de mudança de fase distintos;
- Aplicação em modelos à escala real e monitorização e acompanhamento do comportamento das edificações onde se utiliza esse sistema de controlo humidade ascensional, de forma a continuar a sua validação;
- Estudo de novas técnicas de tratamento de humidade ascensional com ação conjunta de PCM;
- Alargar horizontes e perceber que outras potencialidades se podem extrair dos PCM, por exemplo o seu comportamento a nível de acústica e a nível da reação e resistência ao fogo no âmbito de segurança contra incêndios.

Espera-se que o estudo concretizado neste projeto sirva de apoio para a realização dos desenvolvimentos sugeridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Freitas, V. P., Torres, M. I. M. Guimarães, A. S. *Humidade Ascensional*. FEUP edições, Porto, 2008.
- [2] EN 1015-18. *Methods of test for mortar for masoury - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. European Standard, 2002.
- [3] Gratwick, R. T., *L'Humidité Dans le Batiment*. Éditions Eyrols, Paris, 1970.
- [4] Torres, M. I. M. *Humidade Ascensional em Paredes de Construções Históricas*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - FCTUC, 2004.
- [5] Guimarães, A. S. *Caracterização Experimental do Funcionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Humidade Ascensional*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2007.
- [6] <http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136HumidadeConstru%C3%A7%C3%A3o.pdf>. consult: 30-04-2016.
- [7] Rodrigues, R. M. G. C. *Gestão de Edifícios - Modelo de Simulação Técnico-económica*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2001.
- [8] Teixeira, A. S. *Caracterização Experimental do Funcionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes Para Tratamento da Humidade Ascensional*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2007.
- [9] Morais, M. J. A. *Simulação Numérica da Humidade Ascensional em Edifícios Históricos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2011.
- [10] Gaspar, A.M.R. *Tratamento da Humidade Ascensional em Igrejas - Estudo de Caso*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2012.
- [11] Torres, M. I. M. *Humidade Ascensional em Paredes*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - FCTUC, 1998.
- [12] Lane, George Ashel. *Solar heat storage: latent heat materials*. Universidade de Michigan: CRC Press, 1983.
- [13] Freitas, V., Pinto, P. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas*, NIT 002, LFC - FEUP, 1998.
- [14] Santos, Carlos A. Pina dos and Luís Matias. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. ICT Informações Científicas e Técnicas, Edifícios - Ite 50, Edited by Laboratório Nacional de Engenharia Civil. LNEC, Lisboa, 2007.
- [15] Mendonça, Paulo. *Habitar Sob Uma Segunda Pele: Estratégias Para a Redução Do Impacto Ambiental De Construções Solares Passivas Em Climas Temperados*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005.
- [16] Coelho, Paulo José da Silva Martins. *Tabelas De Termodinâmica Documentos Técnicos*. Porto: FEUP edições, 2007.
- [17] <http://www.rubitherm.eu/index.php/produktkategorie/organische-pcm-rt>. consult: 22-02-2016.
- [18] <http://www.rubitherm.eu/index.php/produktkategorie/anorganische-pcm-sp>. consult: 22-02-2016.
- [19] <http://www.infoescola.com/quimica/estados-fisicos-da-materia/>. consult: 14-03-2016.

- [20] Sá, Ana Margarida Vaz - *Sustentabilidade na construção: comportamento térmico de edifícios em Portugal usando materiais de mudança de fase*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2013.
- [21] Abhat, A. *Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage: Heat Storage Materials*. Solar Energy 30, no. 4 1983. 313-332.
- [22] Baetens, Ruben, Bjørn Petter Jelle and Arild Gustavsen. *Phase Change Materials for Building Applications: A State-of-the-Art Review*. Energy and Buildings 42, no. 9 2010. 1361-1368.
- [23] Sharma, Atul; Tyagi, V. V.; Chen, C. R.; Buddhi, D. - *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 13. n.º 2 2009. p. 318-345. 1364-0321.
- [24] Zhou, D., C. Y. Zhao and Y. Tian. *Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials (Pcms) in Building Applications*. Applied Energy 92, no. 0 2012. 593-605.
- [25] Zalba, Belén, José M. Marín, Luisa F. Cabeza and Harald Mehling. *Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications*. Applied Thermal Engineering 23, no. 3 2003. 251-283.
- [26] Hawes, D. W., D. Feldman and D. Banu. *Latent Heat Storage in Building Materials*. Energy and Buildings 20, no. 1 1993. 77-86.
- [27] Kaasinen, H. *The Absorption of Phase Change Substances into Commonly Used Building Materials*. Solar Energy Materials and Solar Cells 27, no. 2 1992. 173-179.
- [28] Hunger, M., A.G. Entrop, I. Mandilaras, H.J.H. Brouwers and M. Founti. *The Direct Incorporation of Micro-Encapsulated Phase Change Materials in the Concrete Mixing Process. A Feasibility Study*. In CMS2009 Conference on Construction Material Stewardship, 141-148. Rotterdam, 2009.
- [29] http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_290798. consult: 05-03-2016
- [30] Cabeza, L. F.; Castell, A.; Barreneche, C.; de Gracia, A.; Fernández, A. I. - *Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 15. n.º 3 2011. p. 1675-1695. 1364-0321.
- [31] <http://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/makroverkaspelung-csm>. consult: 05-03-2016.
- [32] <http://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/makroverkaspelung-k%C3%BChlakkus> consult: 05-03-2016.
- [33] Hittle, Douglas C. *Phase Change Materials in Floor Tiles for Thermal Energy Storage*. Tese de doutoramento, Colorado State University, 2002.
- [34] Cerón, Isabel, Javier Neila and Mohamed Khayet. *Experimental Tile with Phase Change Materials (Pcm) for Building Use*. Energy and Buildings 43, no. 8 2011. 1869-1874.
- [35] García, E., A. de Pablos, M. A. Bengoechea, L. Guaita, M. I. Osendi and P. Miranzo. *Thermal Conductivity Studies on Ceramic Floor Tiles*. Ceramics International 37, no. 1 2011. 369-375.
- [36] Borreguero, Ana M., M. Luz Sánchez, José Luis Valverde, Manuel Carmona and Juan F. Rodríguez. *Thermal Testing and Numerical Simulation of Gypsum Wallboards Incorporated with Different Pcms Content*. Applied Energy 88, no. 3 2011. 930-937.

- [37] Scalat, S., D. Banu, D. Hawes, J. Paris, F. Haghighata and D. Feldman. *Full Scale Thermal Testing of Latent Heat Storage in Wallboard*. Solar Energy Materials and Solar Cells 44, 1996.
- [38] Bourdeau, L. E. *Study of Two Passive Solar Systems Containing Phase Change Materials for Thermal Storage*. In Proceedings of the fifth national passive solar conference, 297-301. Amherst, MA, USA American Solar Energy Society, 1980.
- [39] Knowles, T. R. *Proportioning Composites for Efficient Thermal Storage Walls*. Solar Energy 31, no. 3 1983. 319-326.
- [40] Ghoneim, A. A., S. A. Klein and J. A. Duffie. *Analysis of Collector-Storage Building Walls Using Phase-Change Materials*. Solar Energy 47, no. 3 1991. 237-242.
- [41] Swet, CJ. *Phase Change Storage in Passive Solar Architecture*. In Proceedings of the fifth national passive solar conference, 282-286. Amherst, MA, USA. American Solar Energy Society, 1980.
- [42] Chandra, S., R. Kumar, S. Kaushik and S. Kaul. *Thermal Performance of a Non-Air-Conditioned Building with Pccm Thermal Storage Wall*. Energy Conversion and Management 25, no. 1 1985. 15-20.
- [43] Cabeza, Luisa F., Cecilia Castellón, Miquel Nogués, Marc Medrano, Ron Leppers and Oihana Zubillaga. *Use of Microencapsulated Pcm in Concrete Walls for Energy Savings*. Energy and Buildings 39, no. 2 2007. 113-119.
- [44] Bentz, Dale P. and Randy Turpin. *Potential Applications of Phase Change Materials in Concrete Technology*. Cement and Concrete Composites 29, no. 7 2007. 527-532.
- [45] Alawadhi, Esam M. *Thermal Analysis of a Building Brick Containing Phase Change Material*. Energy and Buildings 40, no. 3 2008. 351-357.
- [46] Buddhi, D; Bansal, NK; Sawhney, RL; Sodha, MS - *Solar thermal storage systems using phase change materials*. *International journal of energy research*. Vol. 12. n.º 3 1988. p. 547-555.
- [47] <http://www.rubitherm.eu/en/index.php/references/glassx>. consult: 25-05-2016.
- [48] Mehling, Harald - Strategic project *Innovative PCM-Technology* results and future perspectives. 2004.
- [49] Lin, Kunping, Yinping Zhang, Xu Xu, Hongfa Di, Rui Yang and Penghua Qin. *Experimental Study of under-Floor Electric Heating System with Shape-Stabilized Pcm Plates*. Energy and Buildings 37, no. 3 2005. 215-220.
- [50] Lin, Kunping, Yinping Zhang, Hongfa Di and Rui Yang. *Study of an Electrical Heating System with Ductless Air Supply and Shape-Stabilized Pcm for Thermal Storage*. Energy Conversion and Management 48, no. 7 2007. 2016-2024.
- [51] <http://www.dremeleurope.com/pt/pt/discodecortedediamanteparaazulejodremel%C2%AEdsm20-492-ocs-p/>. consult: 28-03-2016.
- [52] Luikov, A. *Heat and mass transfer in capillary porous bodies*. Pergamon Press, 1966.
- [53] Philip, J., De Vries, D. Moisture movement in porous materials under temperature gradients. Trans. American Geophysical Union USA, 1957, 222-232.

- [54] Künzel, H. M. - *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components; One and Two Dimensional Calculation Using Simple Parameters*. Ph. D. Thesis. University of Stuttgart, 1994.
- [55] Holm, A. *Moisture migration in building elements*. Relatório. FEUP. Julho 1995.
- [56] International Energy Agency. Enquiry on HAMCaT Codes. Report Annex 24, Task 1, Modelling
- [57] N. S. de A. Silva, *Simulação numérica da influência da interface no fenómeno da humidade ascensional - Wufi 2D*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [58] Künzel, H. M., Kiessl, K. *Calculation of heat and moisture transfer I*, J. Heat and mass transfer, Volume 40, Number 1, 1997, 159-167.
- [59] <http://www.rubitherm.eu/en/>. Consult 17-02-2016

ANEXOS

A. SÍNTESE DA CAMPANHA EXPERIMENTAL REALIZADA EM TODOS OS PROVETES

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes

B1							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	514,351	514,351	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	514,351	519,834	5,483	3,264
0,050	3	180	13,416	514,351	520,768	6,417	3,820
0,083	5	300	17,321	514,351	521,367	7,016	4,176
0,167	10	600	24,495	514,351	522,380	8,029	4,779
0,250	15	900	30,000	514,351	522,886	8,535	5,080
0,500	30	1800	42,426	514,351	524,453	10,102	6,013
1,000	60	3600	60,000	514,351	525,938	11,587	6,897
2,000	120	7200	84,853	514,351	528,322	13,971	8,316
3,000	180	10800	103,923	514,351	529,851	15,500	9,226
4,000	240	14400	120,000	514,351	531,045	16,694	9,937
5,000	300	18000	134,164	514,351	531,944	17,593	10,472
6,000	360	21600	146,969	514,351	532,968	18,617	11,082
7,000	420	25200	158,745	514,351	533,753	19,402	11,549
8,000	480	28800	169,706	514,351	534,625	20,274	12,068
22,517	1351	81060	284,710	514,351	539,577	25,226	15,015
23,517	1411	84660	290,964	514,351	539,995	25,644	15,264
24,517	1471	88260	297,086	514,351	540,301	25,950	15,446
25,517	1531	91860	303,084	514,351	540,550	26,199	15,595
26,517	1591	95460	308,966	514,351	540,850	26,499	15,773
27,517	1651	99060	314,738	514,351	541,256	26,905	16,015
28,517	1711	102660	320,406	514,351	541,630	27,279	16,238
29,517	1771	106260	325,975	514,351	541,894	27,543	16,395
30,517	1831	109860	331,451	514,351	542,295	27,944	16,633
31,517	1891	113460	336,838	514,351	542,565	28,214	16,794
46,467	2788	167280	408,999	514,351	543,986	29,635	17,640
47,467	2848	170880	413,376	514,351	544,135	29,784	17,729
48,467	2908	174480	417,708	514,351	544,554	30,203	17,978
49,467	2968	178080	421,995	514,351	544,383	30,032	17,876
50,467	3028	181680	426,239	514,351	545,268	30,917	18,403
51,467	3088	185280	430,442	514,351	545,507	31,156	18,545
52,467	3148	188880	434,603	514,351	545,734	31,383	18,680
53,467	3208	192480	438,725	514,351	545,924	31,573	18,793
54,467	3268	196080	442,809	514,351	546,172	31,821	18,941
70,517	4231	253860	503,845	514,351	547,015	32,664	19,443
71,517	4291	257460	507,405	514,351	547,195	32,844	19,550
72,517	4351	261060	510,940	514,351	547,365	33,014	19,651
73,517	4411	264660	514,451	514,351	547,688	33,337	19,843
74,517	4471	268260	517,938	514,351	547,776	33,425	19,896
75,517	4531	271860	521,402	514,351	548,176	33,825	20,134
76,517	4591	275460	524,843	514,351	548,343	33,992	20,233
77,517	4651	279060	528,261	514,351	548,411	34,060	20,274
78,517	4711	282660	531,658	514,351	548,567	34,216	20,367

79,517	4771	286260	535,033	514,351	548,536	34,185	20,348
94,467	5668	340080	583,164	514,351	547,611	33,260	19,798
95,467	5728	343680	586,242	514,351	547,641	33,290	19,815
96,467	5788	347280	589,305	514,351	547,570	33,219	19,773
97,467	5848	350880	592,351	514,351	547,747	33,396	19,879
98,467	5908	354480	595,382	514,351	547,637	33,286	19,813
99,467	5968	358080	598,398	514,351	547,776	33,425	19,896
100,467	6028	361680	601,398	514,351	547,783	33,432	19,900
101,467	6088	365280	604,384	514,351	547,782	33,431	19,899
102,467	6148	368880	607,355	514,351	547,690	33,339	19,845
103,467	6208	372480	610,311	514,351	547,698	33,347	19,849
163,483	9809	588540	767,164	514,351	547,499	33,148	19,731
165,483	9929	595740	771,842	514,351	547,976	33,625	20,015
167,483	10049	602940	776,492	514,351	548,283	33,932	20,198
169,483	10169	610140	781,115	514,351	548,295	33,944	20,205
171,483	10289	617340	785,710	514,351	548,276	33,925	20,193
173,483	10409	624540	790,278	514,351	548,415	34,064	20,276
175,483	10529	631740	794,821	514,351	548,359	34,008	20,243
187,450	11247	674820	821,474	514,351	549,208	34,857	20,748
189,450	11367	682020	825,845	514,351	549,269	34,918	20,785
191,450	11487	689220	830,193	514,351	549,389	35,038	20,856
193,450	11607	696420	834,518	514,351	549,457	35,106	20,896
195,450	11727	703620	838,821	514,351	549,509	35,158	20,927
197,450	11847	710820	843,101	514,351	549,614	35,263	20,990
199,450	11967	718020	847,361	514,351	549,599	35,248	20,981
213,483	12809	768540	876,664	514,351	550,440	36,089	21,482
215,483	12929	775740	880,761	514,351	550,579	36,228	21,564
217,483	13049	782940	884,839	514,351	550,476	36,125	21,503
219,483	13169	790140	888,898	514,351	550,324	35,973	21,413
221,483	13289	797340	892,939	514,351	550,513	36,162	21,525
222,483	13349	800940	894,953	514,351	550,296	35,945	21,396
237,450	14247	854820	924,565	514,351	550,971	36,620	21,798
239,450	14367	862020	928,450	514,351	551,089	36,738	21,868
241,450	14487	869220	932,320	514,351	551,221	36,870	21,946
243,450	14607	876420	936,173	514,351	551,192	36,841	21,929
245,450	14727	883620	940,011	514,351	551,216	36,865	21,943
246,450	14787	887220	941,924	514,351	551,111	36,760	21,881
263,483	15809	948540	973,930	514,351	551,861	37,510	22,327
265,483	15929	955740	977,620	514,351	551,786	37,435	22,283
267,483	16049	962940	981,295	514,351	551,761	37,410	22,268
269,483	16169	970140	984,957	514,351	551,863	37,512	22,329
270,483	16229	973740	986,783	514,351	551,299	36,948	21,993
						S [m²]	0,001680
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,475000

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B2							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]

0,000	0	0	0,000	496,479	496,479	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	496,479	506,839	10,360	6,279
0,050	3	180	13,416	496,479	508,089	11,610	7,036
0,083	5	300	17,321	496,479	508,816	12,337	7,477
0,167	10	600	24,495	496,479	509,269	12,790	7,752
0,250	15	900	30,000	496,479	509,894	13,415	8,130
0,500	30	1800	42,426	496,479	511,147	14,668	8,890
1,000	60	3600	60,000	496,479	512,638	16,159	9,793
2,000	120	7200	84,853	496,479	514,803	18,324	11,105
3,000	180	10800	103,923	496,479	516,560	20,081	12,170
4,000	240	14400	120,000	496,479	517,862	21,383	12,959
5,000	300	18000	134,164	496,479	518,950	22,471	13,619
6,000	360	21600	146,969	496,479	520,143	23,664	14,342
7,000	420	25200	158,745	496,479	520,986	24,507	14,853
8,000	480	28800	169,706	496,479	521,276	24,797	15,028
22,517	1351	81060	284,710	496,479	526,394	29,915	18,130
23,517	1411	84660	290,964	496,479	526,674	30,195	18,300
24,517	1471	88260	297,086	496,479	526,780	30,301	18,364
25,517	1531	91860	303,084	496,479	526,849	30,370	18,406
26,517	1591	95460	308,966	496,479	526,994	30,515	18,494
27,517	1651	99060	314,738	496,479	527,496	31,017	18,798
28,517	1711	102660	320,406	496,479	527,622	31,143	18,875
29,517	1771	106260	325,975	496,479	527,864	31,385	19,021
30,517	1831	109860	331,451	496,479	528,065	31,586	19,143
31,517	1891	113460	336,838	496,479	528,259	31,780	19,261
46,467	2788	167280	408,999	496,479	529,134	32,655	19,791
47,467	2848	170880	413,376	496,479	529,277	32,798	19,878
48,467	2908	174480	417,708	496,479	529,443	32,964	19,978
49,467	2968	178080	421,995	496,479	529,038	32,559	19,733
50,467	3028	181680	426,239	496,479	530,123	33,644	20,390
51,467	3088	185280	430,442	496,479	530,068	33,589	20,357
52,467	3148	188880	434,603	496,479	530,094	33,615	20,373
53,467	3208	192480	438,725	496,479	530,306	33,827	20,501
54,467	3268	196080	442,809	496,479	530,325	33,846	20,513
70,517	4231	253860	503,845	496,479	531,223	34,744	21,057
71,517	4291	257460	507,405	496,479	531,627	35,148	21,302
72,517	4351	261060	510,940	496,479	531,662	35,183	21,323
73,517	4411	264660	514,451	496,479	531,515	35,036	21,234
74,517	4471	268260	517,938	496,479	531,519	35,040	21,236
75,517	4531	271860	521,402	496,479	531,698	35,219	21,345
76,517	4591	275460	524,843	496,479	531,921	35,442	21,480
77,517	4651	279060	528,261	496,479	531,762	35,283	21,384
78,517	4711	282660	531,658	496,479	531,743	35,264	21,372
79,517	4771	286260	535,033	496,479	531,860	35,381	21,443
94,467	5668	340080	583,164	496,479	531,442	34,963	21,190
95,467	5728	343680	586,242	496,479	531,348	34,869	21,133
96,467	5788	347280	589,305	496,479	531,366	34,887	21,144
97,467	5848	350880	592,351	496,479	531,305	34,826	21,107
98,467	5908	354480	595,382	496,479	531,306	34,827	21,107
99,467	5968	358080	598,398	496,479	531,246	34,767	21,071

100,467	6028	361680	601,398	496,479	531,217	34,738	21,053
101,467	6088	365280	604,384	496,479	531,160	34,681	21,019
102,467	6148	368880	607,355	496,479	531,239	34,760	21,067
103,467	6208	372480	610,311	496,479	531,136	34,657	21,004
163,483	9809	588540	767,164	496,479	531,911	35,432	21,474
165,483	9929	595740	771,842	496,479	532,426	35,947	21,786
167,483	10049	602940	776,492	496,479	532,507	36,028	21,835
169,483	10169	610140	781,115	496,479	532,637	36,158	21,914
171,483	10289	617340	785,710	496,479	532,816	36,337	22,022
173,483	10409	624540	790,278	496,479	532,581	36,102	21,880
175,483	10529	631740	794,821	496,479	532,545	36,066	21,858
187,450	11247	674820	821,474	496,479	532,534	36,055	21,852
189,450	11367	682020	825,845	496,479	532,933	36,454	22,093
191,450	11487	689220	830,193	496,479	532,779	36,300	22,000
193,450	11607	696420	834,518	496,479	533,134	36,655	22,215
195,450	11727	703620	838,821	496,479	533,288	36,809	22,308
197,450	11847	710820	843,101	496,479	533,310	36,831	22,322
199,450	11967	718020	847,361	496,479	533,398	36,919	22,375
213,483	12809	768540	876,664	496,479	533,452	36,973	22,408
215,483	12929	775740	880,761	496,479	533,692	37,213	22,553
217,483	13049	782940	884,839	496,479	533,724	37,245	22,573
219,483	13169	790140	888,898	496,479	533,798	37,319	22,618
221,483	13289	797340	892,939	496,479	533,910	37,431	22,685
222,483	13349	800940	894,953	496,479	533,925	37,446	22,695
237,450	14247	854820	924,565	496,479	533,988	37,509	22,733
239,450	14367	862020	928,450	496,479	534,326	37,847	22,938
241,450	14487	869220	932,320	496,479	534,326	37,847	22,938
243,450	14607	876420	936,173	496,479	534,701	38,222	23,165
245,450	14727	883620	940,011	496,479	534,333	37,854	22,942
246,450	14787	887220	941,924	496,479	534,593	38,114	23,099
263,483	15809	948540	973,930	496,479	534,762	38,283	23,202
265,483	15929	955740	977,620	496,479	534,683	38,204	23,154
267,483	16049	962940	981,295	496,479	534,894	38,415	23,282
269,483	16169	970140	984,957	496,479	534,963	38,484	23,324
270,483	16229	973740	986,783	496,479	535,168	38,689	23,448
						S [m²]	0,001650
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,445150

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B3							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	772,413	772,413	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	772,413	791,762	19,349	4,188
0,050	3	180	13,416	772,413	794,711	22,298	4,826
0,083	5	300	17,321	772,413	795,424	23,011	4,981
0,167	10	600	24,495	772,413	797,114	24,701	5,347
0,250	15	900	30,000	772,413	798,130	25,717	5,566
0,500	30	1800	42,426	772,413	800,458	28,045	6,070

1,000	60	3600	60,000	772,413	803,091	30,678	6,640
2,000	120	7200	84,853	772,413	806,253	33,840	7,325
3,000	180	10800	103,923	772,413	807,300	34,887	7,551
4,000	240	14400	120,000	772,413	811,500	39,087	8,460
5,000	300	18000	134,164	772,413	813,300	40,887	8,850
6,000	360	21600	146,969	772,413	813,700	41,287	8,937
7,000	420	25200	158,745	772,413	816,600	44,187	9,564
8,000	480	28800	169,706	772,413	818,000	45,587	9,867
22,517	1351	81060	284,710	772,413	829,900	57,487	12,443
23,517	1411	84660	290,964	772,413	829,900	57,487	12,443
24,517	1471	88260	297,086	772,413	830,900	58,487	12,660
25,517	1531	91860	303,084	772,413	831,100	58,687	12,703
26,517	1591	95460	308,966	772,413	831,400	58,987	12,768
27,517	1651	99060	314,738	772,413	831,700	59,287	12,833
28,517	1711	102660	320,406	772,413	831,600	59,187	12,811
29,517	1771	106260	325,975	772,413	831,600	59,187	12,811
30,517	1831	109860	331,451	772,413	832,000	59,587	12,898
31,517	1891	113460	336,838	772,413	832,400	59,987	12,984
46,467	2788	167280	408,999	772,413	836,700	64,287	13,915
47,467	2848	170880	413,376	772,413	834,200	61,787	13,374
48,467	2908	174480	417,708	772,413	835,600	63,187	13,677
49,467	2968	178080	421,995	772,413	834,200	61,787	13,374
50,467	3028	181680	426,239	772,413	834,200	61,787	13,374
51,467	3088	185280	430,442	772,413	836,200	63,787	13,807
52,467	3148	188880	434,603	772,413	834,200	61,787	13,374
53,467	3208	192480	438,725	772,413	834,400	61,987	13,417
54,467	3268	196080	442,809	772,413	837,300	64,887	14,045
70,517	4231	253860	503,845	772,413	840,300	67,887	14,694
71,517	4291	257460	507,405	772,413	840,600	68,187	14,759
72,517	4351	261060	510,940	772,413	839,900	67,487	14,608
73,517	4411	264660	514,451	772,413	840,200	67,787	14,673
74,517	4471	268260	517,938	772,413	840,400	67,987	14,716
75,517	4531	271860	521,402	772,413	840,200	67,787	14,673
76,517	4591	275460	524,843	772,413	840,400	67,987	14,716
77,517	4651	279060	528,261	772,413	840,400	67,987	14,716
78,517	4711	282660	531,658	772,413	840,100	67,687	14,651
79,517	4771	286260	535,033	772,413	840,400	67,987	14,716
94,467	5668	340080	583,164	772,413	841,400	68,987	14,932
95,467	5728	343680	586,242	772,413	841,300	68,887	14,911
96,467	5788	347280	589,305	772,413	840,800	68,387	14,802
97,467	5848	350880	592,351	772,413	840,400	67,987	14,716
98,467	5908	354480	595,382	772,413	840,600	68,187	14,759
99,467	5968	358080	598,398	772,413	839,900	67,487	14,608
100,467	6028	361680	601,398	772,413	840,300	67,887	14,694
101,467	6088	365280	604,384	772,413	840,200	67,787	14,673
102,467	6148	368880	607,355	772,413	840,300	67,887	14,694
103,467	6208	372480	610,311	772,413	840,100	67,687	14,651
163,483	9809	588540	767,164	772,413	842,600	70,187	15,192
165,483	9929	595740	771,842	772,413	843,000	70,587	15,279
167,483	10049	602940	776,492	772,413	842,600	70,187	15,192

169,483	10169	610140	781,115	772,413	842,700	70,287	15,214
171,483	10289	617340	785,710	772,413	842,600	70,187	15,192
173,483	10409	624540	790,278	772,413	842,800	70,387	15,235
175,483	10529	631740	794,821	772,413	842,600	70,187	15,192
187,450	11247	674820	821,474	772,413	842,500	70,087	15,170
189,450	11367	682020	825,845	772,413	842,500	70,087	15,170
191,450	11487	689220	830,193	772,413	842,900	70,487	15,257
193,450	11607	696420	834,518	772,413	843,400	70,987	15,365
195,450	11727	703620	838,821	772,413	843,300	70,887	15,344
197,450	11847	710820	843,101	772,413	842,900	70,487	15,257
199,450	11967	718020	847,361	772,413	843,500	71,087	15,387
213,483	12809	768540	876,664	772,413	843,800	71,387	15,452
215,483	12929	775740	880,761	772,413	843,400	70,987	15,365
217,483	13049	782940	884,839	772,413	844,000	71,587	15,495
219,483	13169	790140	888,898	772,413	844,600	72,187	15,625
221,483	13289	797340	892,939	772,413	844,300	71,887	15,560
222,483	13349	800940	894,953	772,413	844,000	71,587	15,495
237,450	14247	854820	924,565	772,413	844,000	71,587	15,495
239,450	14367	862020	928,450	772,413	842,200	69,787	15,105
241,450	14487	869220	932,320	772,413	843,300	70,887	15,344
243,450	14607	876420	936,173	772,413	843,700	71,287	15,430
245,450	14727	883620	940,011	772,413	845,000	72,587	15,711
246,450	14787	887220	941,924	772,413	845,200	72,787	15,755
263,483	15809	948540	973,930	772,413	845,600	73,187	15,841
265,483	15929	955740	977,620	772,413	845,000	72,587	15,711
267,483	16049	962940	981,295	772,413	845,200	72,787	15,755
269,483	16169	970140	984,957	772,413	845,600	73,187	15,841
270,483	16229	973740	986,783	772,413	845,400	72,987	15,798
						S [m²]	0,004620
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,755800

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B4							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	629,697	629,697	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	629,697	630,680	0,983	0,520
0,050	3	180	13,416	629,697	630,650	0,953	0,504
0,083	5	300	17,321	629,697	630,589	0,892	0,472
0,167	10	600	24,495	629,697	630,414	0,717	0,379
0,250	15	900	30,000	629,697	630,376	0,679	0,359
0,500	30	1800	42,426	629,697	630,056	0,359	0,190
1,000	60	3600	60,000	629,697	629,805	0,108	0,057
2,000	120	7200	84,853	629,697	629,032	-0,665	-0,352
3,000	180	10800	103,923	629,697	628,957	-0,740	-0,392
4,000	240	14400	120,000	629,697	628,475	-1,222	-0,647
5,000	300	18000	134,164	629,697	628,034	-1,663	-0,880
6,000	360	21600	146,969	629,697	627,799	-1,898	-1,004
7,000	420	25200	158,745	629,697	627,635	-2,062	-1,091

8,000	480	28800	169,706	629,697	627,266	-2,431	-1,286
9,000	540	32400	180,000	629,697	627,105	-2,592	-1,371
23,033	1382	82920	287,958	629,697	625,773	-3,924	-2,076
24,033	1442	86520	294,143	629,697	625,724	-3,973	-2,102
25,033	1502	90120	300,200	629,697	625,509	-4,188	-2,216
26,033	1562	93720	306,137	629,697	625,433	-4,264	-2,256
27,033	1622	97320	311,962	629,697	625,125	-4,572	-2,419
28,033	1682	100920	317,679	629,697	624,889	-4,808	-2,544
29,033	1742	104520	323,296	629,697	624,654	-5,043	-2,668
30,033	1802	108120	328,816	629,697	624,441	-5,256	-2,781
31,033	1862	111720	334,245	629,697	624,217	-5,480	-2,899
32,033	1922	115320	339,588	629,697	624,309	-5,388	-2,851
47,000	2820	169200	411,339	629,697	623,266	-6,431	-3,403
48,000	2880	172800	415,692	629,697	623,100	-6,597	-3,490
49,000	2940	176400	420,000	629,697	623,174	-6,523	-3,451
50,000	3000	180000	424,264	629,697	622,835	-6,862	-3,631
51,000	3060	183600	428,486	629,697	622,672	-7,025	-3,717
52,000	3120	187200	432,666	629,697	622,689	-7,008	-3,708
53,000	3180	190800	436,807	629,697	622,392	-7,305	-3,865
54,000	3240	194400	440,908	629,697	622,329	-7,368	-3,898
55,000	3300	198000	444,972	629,697	622,215	-7,482	-3,959
56,000	3360	201600	448,999	629,697	621,997	-7,700	-4,074
73,033	4382	262920	512,757	629,697	621,299	-8,398	-4,443
74,033	4442	266520	516,256	629,697	621,151	-8,546	-4,522
75,033	4502	270120	519,731	629,697	621,076	-8,621	-4,561
76,033	4562	273720	523,183	629,697	620,948	-8,749	-4,629
77,033	4622	277320	526,612	629,697	620,846	-8,851	-4,683
78,033	4682	280920	530,019	629,697	620,803	-8,894	-4,706
79,033	4742	284520	533,404	629,697	620,559	-9,138	-4,835
80,033	4802	288120	536,768	629,697	620,625	-9,072	-4,800
81,033	4862	291720	540,111	629,697	620,336	-9,361	-4,953
102,000	6120	367200	605,970	629,697	619,997	-9,700	-5,132
144,033	8642	518520	720,083	629,697	618,360	-11,337	-5,998
148,033	8882	532920	730,014	629,697	618,268	-11,429	-6,047
152,033	9122	547320	739,811	629,697	618,407	-11,290	-5,974
180,000	10800	648000	804,984	629,697	617,872	-11,825	-6,257
191,033	11462	687720	829,289	629,697	617,635	-12,062	-6,382
193,033	11582	694920	833,619	629,697	617,663	-12,034	-6,367
195,033	11702	702120	837,926	629,697	617,421	-12,276	-6,495
197,033	11822	709320	842,211	629,697	617,258	-12,439	-6,581
199,033	11942	716520	846,475	629,697	617,307	-12,390	-6,556
200,033	12002	720120	848,599	629,697	617,160	-12,537	-6,633
215,000	12900	774000	879,773	629,697	617,199	-12,498	-6,613
217,000	13020	781200	883,855	629,697	617,262	-12,435	-6,579
219,000	13140	788400	887,919	629,697	616,933	-12,764	-6,753
221,000	13260	795600	891,964	629,697	616,917	-12,780	-6,762
223,000	13380	802800	895,991	629,697	616,825	-12,872	-6,811
239,033	14342	860520	927,642	629,697	616,536	-13,161	-6,963
241,033	14462	867720	931,515	629,697	616,240	-13,457	-7,120
243,033	14582	874920	935,372	629,697	616,239	-13,458	-7,121

245,033	14702	882120	939,212	629,697	616,215	-13,482	-7,133
247,033	14822	889320	943,038	629,697	615,957	-13,740	-7,270
						S [m ²]	0,001890
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	-0,099550

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B5							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	697,637	697,637	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	697,637	698,275	0,638	0,314
0,050	3	180	13,416	697,637	698,503	0,866	0,426
0,083	5	300	17,321	697,637	698,337	0,700	0,344
0,167	10	600	24,495	697,637	698,235	0,598	0,294
0,250	15	900	30,000	697,637	698,163	0,526	0,258
0,500	30	1800	42,426	697,637	697,903	0,266	0,131
1,000	60	3600	60,000	697,637	697,683	0,046	0,023
2,000	120	7200	84,853	697,637	696,961	-0,676	-0,332
3,000	180	10800	103,923	697,637	696,098	-1,539	-0,756
4,000	240	14400	120,000	697,637	695,285	-2,352	-1,156
5,000	300	18000	134,164	697,637	694,649	-2,988	-1,468
6,000	360	21600	146,969	697,637	694,328	-3,309	-1,626
7,000	420	25200	158,745	697,637	693,984	-3,653	-1,795
8,000	480	28800	169,706	697,637	693,544	-4,093	-2,011
9,000	540	32400	180,000	697,637	693,285	-4,352	-2,139
23,033	1382	82920	287,958	697,637	691,386	-6,251	-3,072
24,033	1442	86520	294,143	697,637	691,224	-6,413	-3,151
25,033	1502	90120	300,200	697,637	690,845	-6,792	-3,338
26,033	1562	93720	306,137	697,637	690,771	-6,866	-3,374
27,033	1622	97320	311,962	697,637	690,399	-7,238	-3,557
28,033	1682	100920	317,679	697,637	690,076	-7,561	-3,715
29,033	1742	104520	323,296	697,637	689,701	-7,936	-3,900
30,033	1802	108120	328,816	697,637	689,514	-8,123	-3,992
31,033	1862	111720	334,245	697,637	689,173	-8,464	-4,159
32,033	1922	115320	339,588	697,637	688,777	-8,860	-4,354
47,000	2820	169200	411,339	697,637	686,809	-10,828	-5,321
48,000	2880	172800	415,692	697,637	686,624	-11,013	-5,412
49,000	2940	176400	420,000	697,637	686,378	-11,259	-5,533
50,000	3000	180000	424,264	697,637	686,185	-11,452	-5,628
51,000	3060	183600	428,486	697,637	685,672	-11,965	-5,880
52,000	3120	187200	432,666	697,637	685,678	-11,959	-5,877
53,000	3180	190800	436,807	697,637	685,222	-12,415	-6,101
54,000	3240	194400	440,908	697,637	684,961	-12,676	-6,229
55,000	3300	198000	444,972	697,637	684,772	-12,865	-6,322
56,000	3360	201600	448,999	697,637	684,513	-13,124	-6,449
73,033	4382	262920	512,757	697,637	681,565	-16,072	-7,898
74,033	4442	266520	516,256	697,637	681,508	-16,129	-7,926
75,033	4502	270120	519,731	697,637	681,091	-16,546	-8,131
76,033	4562	273720	523,183	697,637	680,906	-16,731	-8,222

77,033	4622	277320	526,612	697,637	680,573	-17,064	-8,385
78,033	4682	280920	530,019	697,637	680,276	-17,361	-8,531
79,033	4742	284520	533,404	697,637	680,151	-17,486	-8,593
80,033	4802	288120	536,768	697,637	679,722	-17,915	-8,803
81,033	4862	291720	540,111	697,637	679,712	-17,925	-8,808
102,000	6120	367200	605,970	697,637	677,083	-20,554	-10,100
144,033	8642	518520	720,083	697,637	673,176	-24,461	-12,020
148,033	8882	532920	730,014	697,637	672,707	-24,930	-12,251
152,033	9122	547320	739,811	697,637	672,348	-25,289	-12,427
180,000	10800	648000	804,984	697,637	671,860	-25,777	-12,667
191,033	11462	687720	829,289	697,637	671,536	-26,101	-12,826
193,033	11582	694920	833,619	697,637	671,292	-26,345	-12,946
195,033	11702	702120	837,926	697,637	671,050	-26,587	-13,065
197,033	11822	709320	842,211	697,637	670,906	-26,731	-13,136
199,033	11942	716520	846,475	697,637	670,632	-27,005	-13,270
200,033	12002	720120	848,599	697,637	670,758	-26,879	-13,208
215,000	12900	774000	879,773	697,637	671,039	-26,598	-13,070
217,000	13020	781200	883,855	697,637	670,750	-26,887	-13,212
219,000	13140	788400	887,919	697,637	670,531	-27,106	-13,320
221,000	13260	795600	891,964	697,637	670,476	-27,161	-13,347
223,000	13380	802800	895,991	697,637	670,272	-27,365	-13,447
239,033	14342	860520	927,642	697,637	670,015	-27,622	-13,573
241,033	14462	867720	931,515	697,637	669,864	-27,773	-13,648
243,033	14582	874920	935,372	697,637	669,579	-28,058	-13,788
245,033	14702	882120	939,212	697,637	669,540	-28,097	-13,807
247,033	14822	889320	943,038	697,637	669,251	-28,386	-13,949
						S [m ²]	0,002035
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	-0,091300

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B6							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	594,077	594,077	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	594,077	595,066	0,989	0,486
0,050	3	180	13,416	594,077	595,152	1,075	0,528
0,083	5	300	17,321	594,077	595,028	0,951	0,467
0,167	10	600	24,495	594,077	594,720	0,643	0,316
0,250	15	900	30,000	594,077	594,664	0,587	0,288
0,500	30	1800	42,426	594,077	594,120	0,043	0,021
1,000	60	3600	60,000	594,077	593,095	-0,982	-0,483
2,000	120	7200	84,853	594,077	591,656	-2,421	-1,190
3,000	180	10800	103,923	594,077	590,366	-3,711	-1,824
4,000	240	14400	120,000	594,077	589,484	-4,593	-2,257
5,000	300	18000	134,164	594,077	588,746	-5,331	-2,620
6,000	360	21600	146,969	594,077	588,041	-6,036	-2,966
7,000	420	25200	158,745	594,077	587,456	-6,621	-3,254
8,000	480	28800	169,706	594,077	587,126	-6,951	-3,416

9,000	540	32400	180,000	594,077	586,768	-7,309	-3,592
23,033	1382	82920	287,958	594,077	583,022	-11,055	-5,432
24,033	1442	86520	294,143	594,077	582,646	-11,431	-5,617
25,033	1502	90120	300,200	594,077	582,249	-11,828	-5,812
26,033	1562	93720	306,137	594,077	582,069	-12,008	-5,901
27,033	1622	97320	311,962	594,077	581,622	-12,455	-6,120
28,033	1682	100920	317,679	594,077	581,115	-12,962	-6,370
29,033	1742	104520	323,296	594,077	580,728	-13,349	-6,560
30,033	1802	108120	328,816	594,077	580,410	-13,667	-6,716
31,033	1862	111720	334,245	594,077	579,922	-14,155	-6,956
32,033	1922	115320	339,588	594,077	579,779	-14,298	-7,026
47,000	2820	169200	411,339	594,077	577,135	-16,942	-8,325
48,000	2880	172800	415,692	594,077	577,037	-17,040	-8,373
49,000	2940	176400	420,000	594,077	576,636	-17,441	-8,571
50,000	3000	180000	424,264	594,077	576,494	-17,583	-8,640
51,000	3060	183600	428,486	594,077	576,173	-17,904	-8,798
52,000	3120	187200	432,666	594,077	575,827	-18,250	-8,968
53,000	3180	190800	436,807	594,077	575,795	-18,282	-8,984
54,000	3240	194400	440,908	594,077	575,394	-18,683	-9,181
55,000	3300	198000	444,972	594,077	575,311	-18,766	-9,222
56,000	3360	201600	448,999	594,077	575,056	-19,021	-9,347
73,033	4382	262920	512,757	594,077	572,091	-21,986	-10,804
74,033	4442	266520	516,256	594,077	571,832	-22,245	-10,931
75,033	4502	270120	519,731	594,077	571,531	-22,546	-11,079
76,033	4562	273720	523,183	594,077	571,370	-22,707	-11,158
77,033	4622	277320	526,612	594,077	571,167	-22,910	-11,258
78,033	4682	280920	530,019	594,077	570,974	-23,103	-11,353
79,033	4742	284520	533,404	594,077	570,733	-23,344	-11,471
80,033	4802	288120	536,768	594,077	570,641	-23,436	-11,516
81,033	4862	291720	540,111	594,077	570,426	-23,651	-11,622
102,000	6120	367200	605,970	594,077	567,820	-26,257	-12,903
144,033	8642	518520	720,083	594,077	564,612	-29,465	-14,479
148,033	8882	532920	730,014	594,077	564,173	-29,904	-14,695
152,033	9122	547320	739,811	594,077	563,618	-30,459	-14,968
180,000	10800	648000	804,984	594,077	563,869	-30,208	-14,844
191,033	11462	687720	829,289	594,077	563,795	-30,282	-14,881
193,033	11582	694920	833,619	594,077	563,442	-30,635	-15,054
195,033	11702	702120	837,926	594,077	563,361	-30,716	-15,094
197,033	11822	709320	842,211	594,077	563,163	-30,914	-15,191
199,033	11942	716520	846,475	594,077	562,994	-31,083	-15,274
200,033	12002	720120	848,599	594,077	563,094	-30,983	-15,225
215,000	12900	774000	879,773	594,077	563,476	-30,601	-15,037
217,000	13020	781200	883,855	594,077	563,316	-30,761	-15,116
219,000	13140	788400	887,919	594,077	563,103	-30,974	-15,221
221,000	13260	795600	891,964	594,077	563,108	-30,969	-15,218
223,000	13380	802800	895,991	594,077	562,978	-31,099	-15,282
239,033	14342	860520	927,642	594,077	562,745	-31,332	-15,397
241,033	14462	867720	931,515	594,077	562,518	-31,559	-15,508
243,033	14582	874920	935,372	594,077	562,401	-31,676	-15,566
245,033	14702	882120	939,212	594,077	562,315	-31,762	-15,608

247,033	14822	889320	943,038	594,077	562,228	-31,849	-15,651
						S [m ²]	0,002035
						A [kg/(m ² .s ^½)]	-0,234450

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B7							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	573,260	573,260	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	573,260	573,549	0,289	0,144
0,050	3	180	13,416	573,260	573,591	0,331	0,166
0,083	5	300	17,321	573,260	573,752	0,492	0,246
0,167	10	600	24,495	573,260	573,800	0,540	0,270
0,250	15	900	30,000	573,260	573,829	0,569	0,284
0,500	30	1800	42,426	573,260	573,918	0,658	0,329
1,000	60	3600	60,000	573,260	574,054	0,794	0,397
2,000	120	7200	84,853	573,260	574,373	1,113	0,557
3,000	180	10800	103,923	573,260	574,600	1,340	0,670
4,000	240	14400	120,000	573,260	574,748	1,488	0,744
5,000	300	18000	134,164	573,260	574,867	1,607	0,803
6,000	360	21600	146,969	573,260	574,971	1,711	0,856
7,000	420	25200	158,745	573,260	575,100	1,840	0,920
8,000	480	28800	169,706	573,260	575,178	1,918	0,959
19,867	1192	71520	267,432	573,260	576,400	3,140	1,570
20,867	1252	75120	274,080	573,260	576,314	3,054	1,527
21,867	1312	78720	280,571	573,260	576,366	3,106	1,553
22,867	1372	82320	286,915	573,260	576,419	3,159	1,580
23,867	1432	85920	293,121	573,260	576,498	3,238	1,619
24,867	1492	89520	299,199	573,260	576,549	3,289	1,644
25,867	1552	93120	305,156	573,260	576,648	3,388	1,694
26,867	1612	96720	310,998	573,260	576,765	3,505	1,753
27,867	1672	100320	316,733	573,260	576,784	3,524	1,762
28,867	1732	103920	322,366	573,260	576,815	3,555	1,778
29,867	1792	107520	327,902	573,260	576,883	3,623	1,812
30,867	1852	111120	333,347	573,260	576,961	3,701	1,851
31,867	1912	114720	338,703	573,260	577,100	3,840	1,920
45,833	2750	165000	406,202	573,260	578,225	4,965	2,483
46,833	2810	168600	410,609	573,260	578,204	4,944	2,472
47,833	2870	172200	414,970	573,260	578,193	4,933	2,467
48,833	2930	175800	419,285	573,260	578,281	5,021	2,510
49,833	2990	179400	423,556	573,260	578,302	5,042	2,521
50,833	3050	183000	427,785	573,260	578,246	4,986	2,493
51,833	3110	186600	431,972	573,260	578,264	5,004	2,502
52,833	3170	190200	436,119	573,260	578,322	5,062	2,531
53,833	3230	193800	440,227	573,260	578,233	4,973	2,486
54,833	3290	197400	444,297	573,260	578,280	5,020	2,510
69,867	4192	251520	501,518	573,260	579,319	6,059	3,029
70,867	4252	255120	505,094	573,260	579,420	6,160	3,080
71,867	4312	258720	508,645	573,260	579,327	6,067	3,034

72,867	4372	262320	512,172	573,260	579,430	6,170	3,085
73,867	4432	265920	515,674	573,260	579,427	6,167	3,084
74,867	4492	269520	519,153	573,260	579,407	6,147	3,074
75,867	4552	273120	522,609	573,260	579,375	6,115	3,058
76,867	4612	276720	526,042	573,260	579,492	6,232	3,116
77,867	4672	280320	529,453	573,260	579,401	6,141	3,070
78,867	4732	283920	532,841	573,260	579,556	6,296	3,148
95,833	5750	345000	587,367	573,260	580,527	7,267	3,634
96,833	5810	348600	590,424	573,260	580,568	7,308	3,654
97,833	5870	352200	593,464	573,260	580,490	7,230	3,615
98,833	5930	355800	596,490	573,260	580,483	7,223	3,611
99,833	5990	359400	599,500	573,260	580,526	7,266	3,633
100,833	6050	363000	602,495	573,260	580,473	7,213	3,606
101,833	6110	366600	605,475	573,260	580,631	7,371	3,685
102,833	6170	370200	608,441	573,260	580,564	7,304	3,652
103,833	6230	373800	611,392	573,260	580,585	7,325	3,663
124,867	7492	449520	670,463	573,260	581,802	8,542	4,271
166,833	10010	600600	774,984	573,260	583,264	10,004	5,002
170,833	10250	615000	784,219	573,260	583,358	10,098	5,049
174,833	10490	629400	793,347	573,260	583,462	10,202	5,101
202,867	12172	730320	854,588	573,260	584,371	11,111	5,555
213,833	12830	769800	877,382	573,260	584,803	11,543	5,772
215,833	12950	777000	881,476	573,260	584,823	11,563	5,781
217,833	13070	784200	885,551	573,260	584,797	11,537	5,769
219,833	13190	791400	889,607	573,260	584,803	11,543	5,772
221,833	13310	798600	893,644	573,260	584,612	11,352	5,676
222,833	13370	802200	895,656	573,260	584,642	11,382	5,691
237,867	14272	856320	925,376	573,260	585,332	12,072	6,036
239,867	14392	863520	929,258	573,260	585,326	12,066	6,033
241,867	14512	870720	933,124	573,260	585,355	12,095	6,048
243,867	14632	877920	936,974	573,260	585,092	11,832	5,916
245,867	14752	885120	940,808	573,260	585,237	11,977	5,988
261,833	15710	942600	970,876	573,260	585,701	12,441	6,221
263,833	15830	949800	974,577	573,260	585,640	12,380	6,190
265,833	15950	957000	978,264	573,260	585,663	12,403	6,202
267,833	16070	964200	981,937	573,260	585,451	12,191	6,096
269,833	16190	971400	985,596	573,260	585,239	11,979	5,990
						S [m²]	0,002000
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,041350

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B8							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	576,656	576,656	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	576,656	577,081	0,425	0,193
0,050	3	180	13,416	576,656	577,217	0,561	0,255
0,083	5	300	17,321	576,656	577,251	0,595	0,270
0,167	10	600	24,495	576,656	577,424	0,768	0,349

0,250	15	900	30,000	576,656	577,385	0,729	0,331
0,500	30	1800	42,426	576,656	577,468	0,812	0,369
1,000	60	3600	60,000	576,656	577,618	0,962	0,437
2,000	120	7200	84,853	576,656	577,952	1,296	0,589
3,000	180	10800	103,923	576,656	578,053	1,397	0,635
4,000	240	14400	120,000	576,656	578,270	1,614	0,734
5,000	300	18000	134,164	576,656	578,364	1,708	0,776
6,000	360	21600	146,969	576,656	578,496	1,840	0,836
7,000	420	25200	158,745	576,656	578,509	1,853	0,842
8,000	480	28800	169,706	576,656	578,735	2,079	0,945
19,867	1192	71520	267,432	576,656	579,770	3,114	1,415
20,867	1252	75120	274,080	576,656	579,757	3,101	1,410
21,867	1312	78720	280,571	576,656	579,907	3,251	1,478
22,867	1372	82320	286,915	576,656	579,945	3,289	1,495
23,867	1432	85920	293,121	576,656	579,943	3,287	1,494
24,867	1492	89520	299,199	576,656	580,125	3,469	1,577
25,867	1552	93120	305,156	576,656	580,123	3,467	1,576
26,867	1612	96720	310,998	576,656	580,168	3,512	1,596
27,867	1672	100320	316,733	576,656	580,277	3,621	1,646
28,867	1732	103920	322,366	576,656	580,254	3,598	1,635
29,867	1792	107520	327,902	576,656	580,319	3,663	1,665
30,867	1852	111120	333,347	576,656	580,414	3,758	1,708
31,867	1912	114720	338,703	576,656	580,486	3,830	1,741
45,833	2750	165000	406,202	576,656	581,575	4,919	2,236
46,833	2810	168600	410,609	576,656	581,540	4,884	2,220
47,833	2870	172200	414,970	576,656	581,671	5,015	2,280
48,833	2930	175800	419,285	576,656	581,631	4,975	2,261
49,833	2990	179400	423,556	576,656	581,628	4,972	2,260
50,833	3050	183000	427,785	576,656	581,663	5,007	2,276
51,833	3110	186600	431,972	576,656	581,745	5,089	2,313
52,833	3170	190200	436,119	576,656	581,685	5,029	2,286
53,833	3230	193800	440,227	576,656	581,694	5,038	2,290
54,833	3290	197400	444,297	576,656	581,757	5,101	2,319
69,867	4192	251520	501,518	576,656	582,816	6,160	2,800
70,867	4252	255120	505,094	576,656	582,864	6,208	2,822
71,867	4312	258720	508,645	576,656	582,997	6,341	2,882
72,867	4372	262320	512,172	576,656	582,961	6,305	2,866
73,867	4432	265920	515,674	576,656	582,985	6,329	2,877
74,867	4492	269520	519,153	576,656	582,968	6,312	2,869
75,867	4552	273120	522,609	576,656	583,110	6,454	2,934
76,867	4612	276720	526,042	576,656	583,081	6,425	2,920
77,867	4672	280320	529,453	576,656	582,998	6,342	2,883
78,867	4732	283920	532,841	576,656	583,062	6,406	2,912
95,833	5750	345000	587,367	576,656	584,198	7,542	3,428
96,833	5810	348600	590,424	576,656	584,203	7,547	3,430
97,833	5870	352200	593,464	576,656	584,267	7,611	3,460
98,833	5930	355800	596,490	576,656	584,158	7,502	3,410
99,833	5990	359400	599,500	576,656	584,295	7,639	3,472
100,833	6050	363000	602,495	576,656	584,149	7,493	3,406
101,833	6110	366600	605,475	576,656	584,226	7,570	3,441

102,833	6170	370200	608,441	576,656	584,317	7,661	3,482
103,833	6230	373800	611,392	576,656	584,265	7,609	3,459
124,867	7492	449520	670,463	576,656	585,471	8,815	4,007
166,833	10010	600600	774,984	576,656	587,114	10,458	4,754
170,833	10250	615000	784,219	576,656	587,151	10,495	4,770
174,833	10490	629400	793,347	576,656	587,206	10,550	4,795
202,867	12172	730320	854,588	576,656	588,241	11,585	5,266
213,833	12830	769800	877,382	576,656	588,586	11,930	5,423
215,833	12950	777000	881,476	576,656	588,471	11,815	5,370
217,833	13070	784200	885,551	576,656	588,530	11,874	5,397
219,833	13190	791400	889,607	576,656	588,461	11,805	5,366
221,833	13310	798600	893,644	576,656	588,377	11,721	5,328
222,833	13370	802200	895,656	576,656	588,397	11,741	5,337
237,867	14272	856320	925,376	576,656	589,072	12,416	5,644
239,867	14392	863520	929,258	576,656	589,091	12,435	5,652
241,867	14512	870720	933,124	576,656	589,216	12,560	5,709
243,867	14632	877920	936,974	576,656	589,196	12,540	5,700
245,867	14752	885120	940,808	576,656	589,110	12,454	5,661
261,833	15710	942600	970,876	576,656	589,751	13,095	5,952
263,833	15830	949800	974,577	576,656	589,635	12,979	5,900
265,833	15950	957000	978,264	576,656	589,575	12,919	5,872
267,833	16070	964200	981,937	576,656	589,595	12,939	5,881
269,833	16190	971400	985,596	576,656	589,483	12,827	5,830
						S [m ²]	0,002200
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,036100

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

B9							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	617,081	617,081	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	617,081	617,582	0,501	0,250
0,050	3	180	13,416	617,081	617,634	0,553	0,276
0,083	5	300	17,321	617,081	617,789	0,708	0,354
0,167	10	600	24,495	617,081	617,807	0,726	0,363
0,250	15	900	30,000	617,081	617,867	0,786	0,393
0,500	30	1800	42,426	617,081	618,050	0,969	0,484
1,000	60	3600	60,000	617,081	618,299	1,218	0,609
2,000	120	7200	84,853	617,081	618,632	1,551	0,775
3,000	180	10800	103,923	617,081	618,754	1,673	0,837
4,000	240	14400	120,000	617,081	618,881	1,800	0,900
5,000	300	18000	134,164	617,081	619,057	1,976	0,988
6,000	360	21600	146,969	617,081	619,053	1,972	0,986
7,000	420	25200	158,745	617,081	619,236	2,155	1,077
8,000	480	28800	169,706	617,081	619,304	2,223	1,111
19,867	1192	71520	267,432	617,081	620,103	3,022	1,511
20,867	1252	75120	274,080	617,081	619,913	2,832	1,416
21,867	1312	78720	280,571	617,081	620,034	2,953	1,476
22,867	1372	82320	286,915	617,081	620,183	3,102	1,551

23,867	1432	85920	293,121	617,081	620,045	2,964	1,482
24,867	1492	89520	299,199	617,081	620,211	3,130	1,565
25,867	1552	93120	305,156	617,081	620,291	3,210	1,605
26,867	1612	96720	310,998	617,081	620,323	3,242	1,621
27,867	1672	100320	316,733	617,081	620,392	3,311	1,656
28,867	1732	103920	322,366	617,081	620,442	3,361	1,680
29,867	1792	107520	327,902	617,081	620,480	3,399	1,700
30,867	1852	111120	333,347	617,081	620,484	3,403	1,702
31,867	1912	114720	338,703	617,081	620,600	3,519	1,760
45,833	2750	165000	406,202	617,081	621,151	4,070	2,035
46,833	2810	168600	410,609	617,081	621,203	4,122	2,061
47,833	2870	172200	414,970	617,081	621,243	4,162	2,081
48,833	2930	175800	419,285	617,081	621,230	4,149	2,075
49,833	2990	179400	423,556	617,081	621,239	4,158	2,079
50,833	3050	183000	427,785	617,081	621,343	4,262	2,131
51,833	3110	186600	431,972	617,081	621,381	4,300	2,150
52,833	3170	190200	436,119	617,081	621,313	4,232	2,116
53,833	3230	193800	440,227	617,081	621,331	4,250	2,125
54,833	3290	197400	444,297	617,081	621,275	4,194	2,097
69,867	4192	251520	501,518	617,081	621,903	4,822	2,411
70,867	4252	255120	505,094	617,081	621,949	4,868	2,434
71,867	4312	258720	508,645	617,081	621,932	4,851	2,426
72,867	4372	262320	512,172	617,081	621,995	4,914	2,457
73,867	4432	265920	515,674	617,081	622,107	5,026	2,513
74,867	4492	269520	519,153	617,081	621,920	4,839	2,419
75,867	4552	273120	522,609	617,081	621,945	4,864	2,432
76,867	4612	276720	526,042	617,081	621,973	4,892	2,446
77,867	4672	280320	529,453	617,081	621,941	4,860	2,430
78,867	4732	283920	532,841	617,081	622,000	4,919	2,459
95,833	5750	345000	587,367	617,081	622,734	5,653	2,827
96,833	5810	348600	590,424	617,081	622,561	5,480	2,740
97,833	5870	352200	593,464	617,081	622,696	5,615	2,808
98,833	5930	355800	596,490	617,081	622,641	5,560	2,780
99,833	5990	359400	599,500	617,081	622,748	5,667	2,834
100,833	6050	363000	602,495	617,081	622,541	5,460	2,730
101,833	6110	366600	605,475	617,081	622,613	5,532	2,766
102,833	6170	370200	608,441	617,081	622,685	5,604	2,802
103,833	6230	373800	611,392	617,081	622,671	5,590	2,795
124,867	7492	449520	670,463	617,081	623,509	6,428	3,214
166,833	10010	600600	774,984	617,081	624,175	7,094	3,547
170,833	10250	615000	784,219	617,081	624,241	7,160	3,580
174,833	10490	629400	793,347	617,081	624,304	7,223	3,611
202,867	12172	730320	854,588	617,081	625,028	7,947	3,974
213,833	12830	769800	877,382	617,081	625,300	8,219	4,109
215,833	12950	777000	881,476	617,081	625,203	8,122	4,061
217,833	13070	784200	885,551	617,081	625,396	8,315	4,157
219,833	13190	791400	889,607	617,081	625,346	8,265	4,132
221,833	13310	798600	893,644	617,081	625,363	8,282	4,141
222,833	13370	802200	895,656	617,081	625,435	8,354	4,177
237,867	14272	856320	925,376	617,081	625,780	8,699	4,349

239,867	14392	863520	929,258	617,081	625,864	8,783	4,392
241,867	14512	870720	933,124	617,081	625,845	8,764	4,382
243,867	14632	877920	936,974	617,081	625,760	8,679	4,339
245,867	14752	885120	940,808	617,081	625,966	8,885	4,443
261,833	15710	942600	970,876	617,081	626,263	9,182	4,591
263,833	15830	949800	974,577	617,081	626,314	9,233	4,616
265,833	15950	957000	978,264	617,081	626,333	9,252	4,626
267,833	16070	964200	981,937	617,081	626,243	9,162	4,581
269,833	16190	971400	985,596	617,081	626,300	9,219	4,609
						S [m ²]	0,002000
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,065850

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z1							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	547,703	547,703	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	547,703	552,334	4,631	2,276
0,050	3	180	13,416	547,703	554,169	6,466	3,177
0,083	5	300	17,321	547,703	555,247	7,544	3,707
0,167	10	600	24,495	547,703	556,853	9,150	4,496
0,250	15	900	30,000	547,703	557,926	10,223	5,024
0,500	30	1800	42,426	547,703	560,315	12,612	6,198
1,000	60	3600	60,000	547,703	563,504	15,801	7,765
2,000	120	7200	84,853	547,703	567,993	20,290	9,971
3,000	180	10800	103,923	547,703	571,178	23,475	11,536
4,000	240	14400	120,000	547,703	573,723	26,020	12,786
5,000	300	18000	134,164	547,703	575,902	28,199	13,857
6,000	360	21600	146,969	547,703	577,758	30,055	14,769
7,000	420	25200	158,745	547,703	579,373	31,670	15,563
21,383	1283	76980	277,453	547,703	592,466	44,763	21,997
22,383	1343	80580	283,866	547,703	593,162	45,459	22,339
23,383	1403	84180	290,138	547,703	593,640	45,937	22,573
24,383	1463	87780	296,277	547,703	594,341	46,638	22,918
25,383	1523	91380	302,291	547,703	594,817	47,114	23,152
26,383	1583	94980	308,188	547,703	595,370	47,667	23,424
27,383	1643	98580	313,975	547,703	595,906	48,203	23,687
28,383	1703	102180	319,656	547,703	596,364	48,661	23,912
29,383	1763	105780	325,238	547,703	596,859	49,156	24,155
30,383	1823	109380	330,726	547,703	597,241	49,538	24,343
45,433	2726	163560	404,426	547,703	601,023	53,320	26,201
46,433	2786	167160	408,852	547,703	601,336	53,633	26,355
47,433	2846	170760	413,231	547,703	601,667	53,964	26,518
48,433	2906	174360	417,564	547,703	601,824	54,121	26,595
49,433	2966	177960	421,853	547,703	602,454	54,751	26,905
50,433	3026	181560	426,099	547,703	602,613	54,910	26,983
51,433	3086	185160	430,302	547,703	602,855	55,152	27,102
52,433	3146	188760	434,465	547,703	603,039	55,336	27,192
53,433	3206	192360	438,589	547,703	603,363	55,660	27,351

69,383	4163	249780	499,780	547,703	605,022	57,319	28,167
70,383	4223	253380	503,369	547,703	605,042	57,339	28,176
71,383	4283	256980	506,932	547,703	605,257	57,554	28,282
72,383	4343	260580	510,470	547,703	605,330	57,627	28,318
73,383	4403	264180	513,984	547,703	605,548	57,845	28,425
74,383	4463	267780	517,475	547,703	605,585	57,882	28,443
75,383	4523	271380	520,941	547,703	605,633	57,930	28,467
76,383	4583	274980	524,385	547,703	605,874	58,171	28,585
77,383	4643	278580	527,807	547,703	605,823	58,120	28,560
78,383	4703	282180	531,206	547,703	605,680	57,977	28,490
93,433	5606	336360	579,966	547,703	605,402	57,699	28,353
94,433	5666	339960	583,061	547,703	605,532	57,829	28,417
95,433	5726	343560	586,140	547,703	605,412	57,709	28,358
96,433	5786	347160	589,203	547,703	605,333	57,630	28,319
97,433	5846	350760	592,250	547,703	605,500	57,797	28,401
98,433	5906	354360	595,281	547,703	605,552	57,849	28,427
99,433	5966	357960	598,298	547,703	605,151	57,448	28,230
100,433	6026	361560	601,299	547,703	605,584	57,881	28,443
101,433	6086	365160	604,285	547,703	605,602	57,899	28,452
102,433	6146	368760	607,256	547,703	605,511	57,808	28,407
162,367	9742	584520	764,539	547,703	606,230	58,527	28,760
164,367	9862	591720	769,233	547,703	606,823	59,120	29,052
166,367	9982	598920	773,899	547,703	606,917	59,214	29,098
168,367	10102	606120	778,537	547,703	607,172	59,469	29,223
170,367	10222	613320	783,147	547,703	607,244	59,541	29,258
172,367	10342	620520	787,731	547,703	607,306	59,603	29,289
174,367	10462	627720	792,288	547,703	607,501	59,798	29,385
186,400	11184	671040	819,170	547,703	609,009	61,306	30,126
188,400	11304	678240	823,553	547,703	609,144	61,441	30,192
190,400	11424	685440	827,913	547,703	609,027	61,324	30,135
192,400	11544	692640	832,250	547,703	609,207	61,504	30,223
194,400	11664	699840	836,564	547,703	609,391	61,688	30,314
196,400	11784	707040	840,857	547,703	609,392	61,689	30,314
198,400	11904	714240	845,127	547,703	609,657	61,954	30,444
212,367	12742	764520	874,368	547,703	610,997	63,294	31,103
214,367	12862	771720	878,476	547,703	611,107	63,404	31,157
216,367	12982	778920	882,564	547,703	611,001	63,298	31,105
218,367	13102	786120	886,634	547,703	610,982	63,279	31,095
220,367	13222	793320	890,685	547,703	611,108	63,405	31,157
221,367	13282	796920	892,704	547,703	611,049	63,346	31,128
236,400	14184	851040	922,518	547,703	611,926	64,223	31,559
238,400	14304	858240	926,412	547,703	612,062	64,359	31,626
240,400	14424	865440	930,290	547,703	612,087	64,384	31,638
242,400	14544	872640	934,152	547,703	611,938	64,235	31,565
244,400	14664	879840	937,998	547,703	612,106	64,403	31,648
245,400	14724	883440	939,915	547,703	612,096	64,393	31,643
262,367	15742	944520	971,864	547,703	612,712	65,009	31,945
264,367	15862	951720	975,561	547,703	612,661	64,958	31,920
266,367	15982	958920	979,245	547,703	612,671	64,968	31,925
268,367	16102	966120	982,914	547,703	612,805	65,102	31,991

269,367	16162	969720	984,744	547,703	612,811	65,108	31,994
						S [m ²]	0,002035
						A [kg/(m ² .s ^½)]	0,889550

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z2							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	500,265	500,265	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	500,265	505,981	5,716	3,081
0,050	3	180	13,416	500,265	508,099	7,834	4,223
0,083	5	300	17,321	500,265	508,639	8,374	4,514
0,167	10	600	24,495	500,265	510,122	9,857	5,314
0,250	15	900	30,000	500,265	510,912	10,647	5,740
0,500	30	1800	42,426	500,265	512,672	12,407	6,688
1,000	60	3600	60,000	500,265	514,914	14,649	7,897
2,000	120	7200	84,853	500,265	518,564	18,299	9,865
3,000	180	10800	103,923	500,265	521,102	20,837	11,233
4,000	240	14400	120,000	500,265	523,213	22,948	12,371
5,000	300	18000	134,164	500,265	524,930	24,665	13,296
6,000	360	21600	146,969	500,265	526,517	26,252	14,152
7,000	420	25200	158,745	500,265	527,925	27,660	14,911
21,383	1283	76980	277,453	500,265	539,198	38,933	20,988
22,383	1343	80580	283,866	500,265	539,744	39,479	21,282
23,383	1403	84180	290,138	500,265	540,185	39,920	21,520
24,383	1463	87780	296,277	500,265	540,727	40,462	21,812
25,383	1523	91380	302,291	500,265	541,061	40,796	21,992
26,383	1583	94980	308,188	500,265	541,467	41,202	22,211
27,383	1643	98580	313,975	500,265	541,814	41,549	22,398
28,383	1703	102180	319,656	500,265	542,241	41,976	22,629
29,383	1763	105780	325,238	500,265	542,567	42,302	22,804
30,383	1823	109380	330,726	500,265	542,891	42,626	22,979
45,433	2726	163560	404,426	500,265	545,610	45,345	24,445
46,433	2786	167160	408,852	500,265	545,989	45,724	24,649
47,433	2846	170760	413,231	500,265	546,128	45,863	24,724
48,433	2906	174360	417,564	500,265	545,985	45,720	24,647
49,433	2966	177960	421,853	500,265	546,632	46,367	24,996
50,433	3026	181560	426,099	500,265	546,596	46,331	24,976
51,433	3086	185160	430,302	500,265	546,796	46,531	25,084
52,433	3146	188760	434,465	500,265	546,947	46,682	25,165
53,433	3206	192360	438,589	500,265	547,207	46,942	25,306
69,383	4163	249780	499,780	500,265	548,386	48,121	25,941
70,383	4223	253380	503,369	500,265	548,556	48,291	26,033
71,383	4283	256980	506,932	500,265	548,705	48,440	26,113
72,383	4343	260580	510,470	500,265	548,832	48,567	26,182
73,383	4403	264180	513,984	500,265	549,020	48,755	26,283
74,383	4463	267780	517,475	500,265	549,116	48,851	26,335
75,383	4523	271380	520,941	500,265	549,112	48,847	26,333
76,383	4583	274980	524,385	500,265	549,173	48,908	26,365

77,383	4643	278580	527,807	500,265	549,293	49,028	26,430
78,383	4703	282180	531,206	500,265	549,316	49,051	26,443
93,433	5606	336360	579,966	500,265	549,009	48,744	26,277
94,433	5666	339960	583,061	500,265	548,957	48,692	26,249
95,433	5726	343560	586,140	500,265	548,900	48,635	26,218
96,433	5786	347160	589,203	500,265	548,928	48,663	26,233
97,433	5846	350760	592,250	500,265	548,932	48,667	26,236
98,433	5906	354360	595,281	500,265	549,050	48,785	26,299
99,433	5966	357960	598,298	500,265	548,962	48,697	26,252
100,433	6026	361560	601,299	500,265	548,899	48,634	26,218
101,433	6086	365160	604,285	500,265	549,013	48,748	26,279
102,433	6146	368760	607,256	500,265	548,986	48,721	26,265
162,367	9742	584520	764,539	500,265	549,375	49,110	26,474
164,367	9862	591720	769,233	500,265	549,743	49,478	26,673
166,367	9982	598920	773,899	500,265	549,964	49,699	26,792
168,367	10102	606120	778,537	500,265	550,023	49,758	26,824
170,367	10222	613320	783,147	500,265	550,022	49,757	26,823
172,367	10342	620520	787,731	500,265	549,946	49,681	26,782
174,367	10462	627720	792,288	500,265	550,055	49,790	26,841
186,400	11184	671040	819,170	500,265	550,512	50,247	27,087
188,400	11304	678240	823,553	500,265	550,594	50,329	27,132
190,400	11424	685440	827,913	500,265	550,708	50,443	27,193
192,400	11544	692640	832,250	500,265	550,901	50,636	27,297
194,400	11664	699840	836,564	500,265	551,081	50,816	27,394
196,400	11784	707040	840,857	500,265	551,173	50,908	27,444
198,400	11904	714240	845,127	500,265	551,256	50,991	27,488
212,367	12742	764520	874,368	500,265	551,824	51,559	27,795
214,367	12862	771720	878,476	500,265	551,998	51,733	27,888
216,367	12982	778920	882,564	500,265	552,049	51,784	27,916
218,367	13102	786120	886,634	500,265	552,121	51,856	27,955
220,367	13222	793320	890,685	500,265	552,181	51,916	27,987
221,367	13282	796920	892,704	500,265	552,241	51,976	28,019
236,400	14184	851040	922,518	500,265	552,956	52,691	28,405
238,400	14304	858240	926,412	500,265	552,965	52,700	28,410
240,400	14424	865440	930,290	500,265	552,991	52,726	28,424
242,400	14544	872640	934,152	500,265	553,144	52,879	28,506
244,400	14664	879840	937,998	500,265	553,226	52,961	28,550
245,400	14724	883440	939,915	500,265	553,281	53,016	28,580
262,367	15742	944520	971,864	500,265	553,711	53,446	28,812
264,367	15862	951720	975,561	500,265	553,736	53,471	28,825
266,367	15982	958920	979,245	500,265	553,588	53,323	28,746
268,367	16102	966120	982,914	500,265	553,621	53,356	28,763
269,367	16162	969720	984,744	500,265	553,858	53,593	28,891
						S [m²]	0,001855
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,661700

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z3							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	497,549	497,549	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	497,549	505,473	7,924	3,862
0,050	3	180	13,416	497,549	507,043	9,494	4,627
0,083	5	300	17,321	497,549	507,787	10,238	4,989
0,167	10	600	24,495	497,549	509,516	11,967	5,832
0,250	15	900	30,000	497,549	510,606	13,057	6,363
0,500	30	1800	42,426	497,549	512,930	15,381	7,496
1,000	60	3600	60,000	497,549	515,917	18,368	8,951
2,000	120	7200	84,853	497,549	520,114	22,565	10,997
3,000	180	10800	103,923	497,549	523,103	25,554	12,453
4,000	240	14400	120,000	497,549	525,843	28,294	13,788
5,000	300	18000	134,164	497,549	528,175	30,626	14,925
6,000	360	21600	146,969	497,549	530,152	32,603	15,888
7,000	420	25200	158,745	497,549	532,009	34,460	16,793
21,383	1283	76980	277,453	497,549	549,495	51,946	25,315
22,383	1343	80580	283,866	497,549	549,957	52,408	25,540
23,383	1403	84180	290,138	497,549	550,740	53,191	25,922
24,383	1463	87780	296,277	497,549	551,218	53,669	26,154
25,383	1523	91380	302,291	497,549	551,650	54,101	26,365
26,383	1583	94980	308,188	497,549	552,277	54,728	26,671
27,383	1643	98580	313,975	497,549	552,697	55,148	26,875
28,383	1703	102180	319,656	497,549	553,085	55,536	27,064
29,383	1763	105780	325,238	497,549	553,501	55,952	27,267
30,383	1823	109380	330,726	497,549	553,938	56,389	27,480
45,433	2726	163560	404,426	497,549	557,844	60,295	29,384
46,433	2786	167160	408,852	497,549	558,076	60,527	29,497
47,433	2846	170760	413,231	497,549	558,075	60,526	29,496
48,433	2906	174360	417,564	497,549	558,021	60,472	29,470
49,433	2966	177960	421,853	497,549	557,895	60,346	29,408
50,433	3026	181560	426,099	497,549	558,100	60,551	29,508
51,433	3086	185160	430,302	497,549	558,030	60,481	29,474
52,433	3146	188760	434,465	497,549	558,051	60,502	29,484
53,433	3206	192360	438,589	497,549	558,242	60,693	29,577
69,383	4163	249780	499,780	497,549	559,656	62,107	30,267
70,383	4223	253380	503,369	497,549	559,512	61,963	30,196
71,383	4283	256980	506,932	497,549	559,418	61,869	30,151
72,383	4343	260580	510,470	497,549	559,383	61,834	30,134
73,383	4403	264180	513,984	497,549	559,233	61,684	30,060
74,383	4463	267780	517,475	497,549	559,300	61,751	30,093
75,383	4523	271380	520,941	497,549	559,197	61,648	30,043
76,383	4583	274980	524,385	497,549	559,229	61,680	30,058
77,383	4643	278580	527,807	497,549	559,381	61,832	30,133
78,383	4703	282180	531,206	497,549	559,318	61,769	30,102
93,433	5606	336360	579,966	497,549	559,614	62,065	30,246
94,433	5666	339960	583,061	497,549	559,642	62,093	30,260
95,433	5726	343560	586,140	497,549	559,518	61,969	30,199

96,433	5786	347160	589,203	497,549	559,411	61,862	30,147
97,433	5846	350760	592,250	497,549	559,450	61,901	30,166
98,433	5906	354360	595,281	497,549	559,543	61,994	30,212
99,433	5966	357960	598,298	497,549	559,562	62,013	30,221
100,433	6026	361560	601,299	497,549	559,448	61,899	30,165
101,433	6086	365160	604,285	497,549	559,411	61,862	30,147
102,433	6146	368760	607,256	497,549	559,313	61,764	30,099
162,367	9742	584520	764,539	497,549	560,294	62,745	30,577
164,367	9862	591720	769,233	497,549	560,351	62,802	30,605
166,367	9982	598920	773,899	497,549	560,306	62,757	30,583
168,367	10102	606120	778,537	497,549	560,155	62,606	30,510
170,367	10222	613320	783,147	497,549	560,137	62,588	30,501
172,367	10342	620520	787,731	497,549	560,243	62,694	30,553
174,367	10462	627720	792,288	497,549	560,181	62,632	30,522
186,400	11184	671040	819,170	497,549	560,425	62,876	30,641
188,400	11304	678240	823,553	497,549	560,388	62,839	30,623
190,400	11424	685440	827,913	497,549	560,371	62,822	30,615
192,400	11544	692640	832,250	497,549	560,540	62,991	30,697
194,400	11664	699840	836,564	497,549	560,539	62,990	30,697
196,400	11784	707040	840,857	497,549	560,447	62,898	30,652
198,400	11904	714240	845,127	497,549	560,483	62,934	30,670
212,367	12742	764520	874,368	497,549	560,648	63,099	30,750
214,367	12862	771720	878,476	497,549	560,689	63,140	30,770
216,367	12982	778920	882,564	497,549	560,733	63,184	30,791
218,367	13102	786120	886,634	497,549	560,838	63,289	30,843
220,367	13222	793320	890,685	497,549	560,833	63,284	30,840
221,367	13282	796920	892,704	497,549	560,867	63,318	30,857
236,400	14184	851040	922,518	497,549	561,135	63,586	30,987
238,400	14304	858240	926,412	497,549	561,170	63,621	31,004
240,400	14424	865440	930,290	497,549	561,112	63,563	30,976
242,400	14544	872640	934,152	497,549	561,042	63,493	30,942
244,400	14664	879840	937,998	497,549	561,203	63,654	31,020
245,400	14724	883440	939,915	497,549	561,043	63,494	30,942
262,367	15742	944520	971,864	497,549	561,391	63,842	31,112
264,367	15862	951720	975,561	497,549	561,392	63,843	31,113
266,367	15982	958920	979,245	497,549	561,495	63,946	31,163
268,367	16102	966120	982,914	497,549	561,301	63,752	31,068
269,367	16162	969720	984,744	497,549	561,187	63,638	31,013
						S [m²]	0,002052
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,849950

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z4							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	580,262	580,262	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	580,262	581,137	0,875	0,490
0,050	3	180	13,416	580,262	581,118	0,856	0,480
0,083	5	300	17,321	580,262	581,176	0,914	0,512

0,167	10	600	24,495	580,262	581,199	0,937	0,525
0,250	15	900	30,000	580,262	581,130	0,868	0,486
0,500	30	1800	42,426	580,262	581,262	1,000	0,560
1,000	60	3600	60,000	580,262	581,284	1,022	0,573
2,000	120	7200	84,853	580,262	581,354	1,092	0,612
3,000	180	10800	103,923	580,262	581,234	0,972	0,545
4,000	240	14400	120,000	580,262	581,342	1,080	0,605
5,000	300	18000	134,164	580,262	581,271	1,009	0,565
6,000	360	21600	146,969	580,262	581,038	0,776	0,435
7,000	420	25200	158,745	580,262	581,107	0,845	0,473
8,000	480	28800	169,706	580,262	580,912	0,650	0,364
21,967	1318	79080	281,212	580,262	579,880	-0,382	-0,214
22,967	1378	82680	287,541	580,262	579,337	-0,925	-0,518
23,967	1438	86280	293,735	580,262	579,745	-0,517	-0,290
24,967	1498	89880	299,800	580,262	579,541	-0,721	-0,404
25,967	1558	93480	305,745	580,262	579,184	-1,078	-0,604
26,967	1618	97080	311,577	580,262	578,995	-1,267	-0,710
27,967	1678	100680	317,301	580,262	578,762	-1,500	-0,840
28,967	1738	104280	322,924	580,262	578,730	-1,532	-0,858
29,967	1798	107880	328,451	580,262	578,350	-1,912	-1,071
30,967	1858	111480	333,886	580,262	578,090	-2,172	-1,217
46,000	2760	165600	406,940	580,262	576,941	-3,321	-1,861
47,000	2820	169200	411,339	580,262	576,759	-3,503	-1,962
48,000	2880	172800	415,692	580,262	576,618	-3,644	-2,041
49,000	2940	176400	420,000	580,262	576,361	-3,901	-2,185
50,000	3000	180000	424,264	580,262	576,333	-3,929	-2,201
51,000	3060	183600	428,486	580,262	576,311	-3,951	-2,213
52,000	3120	187200	432,666	580,262	576,142	-4,120	-2,308
53,000	3180	190800	436,807	580,262	575,930	-4,332	-2,427
54,000	3240	194400	440,908	580,262	575,767	-4,495	-2,518
55,000	3300	198000	444,972	580,262	575,635	-4,627	-2,592
71,967	4318	259080	508,999	580,262	574,010	-6,252	-3,503
72,967	4378	262680	512,523	580,262	574,000	-6,262	-3,508
73,967	4438	266280	516,023	580,262	573,834	-6,428	-3,601
74,967	4498	269880	519,500	580,262	573,850	-6,412	-3,592
75,967	4558	273480	522,953	580,262	573,651	-6,611	-3,704
76,967	4618	277080	526,384	580,262	573,564	-6,698	-3,752
77,967	4678	280680	529,792	580,262	573,345	-6,917	-3,875
78,967	4738	284280	533,179	580,262	573,337	-6,925	-3,880
79,967	4798	287880	536,544	580,262	573,260	-7,002	-3,923
101,000	6060	363600	602,993	580,262	572,338	-7,924	-4,439
142,967	8578	514680	717,412	580,262	570,732	-9,530	-5,339
146,967	8818	529080	727,379	580,262	570,402	-9,860	-5,524
150,967	9058	543480	737,211	580,262	569,966	-10,296	-5,768
179,000	10740	644400	802,745	580,262	570,050	-10,212	-5,721
189,967	11398	683880	826,970	580,262	569,886	-10,376	-5,813
191,967	11518	691080	831,312	580,262	569,598	-10,664	-5,974
193,967	11638	698280	835,631	580,262	569,412	-10,850	-6,078
195,967	11758	705480	839,929	580,262	569,472	-10,790	-6,045
197,967	11878	712680	844,204	580,262	569,297	-10,965	-6,143

198,967	11938	716280	846,333	580,262	569,120	-11,142	-6,242
214,000	12840	770400	877,724	580,262	569,288	-10,974	-6,148
216,000	12960	777600	881,816	580,262	569,245	-11,017	-6,172
218,000	13080	784800	885,889	580,262	569,063	-11,199	-6,274
220,000	13200	792000	889,944	580,262	569,122	-11,140	-6,241
222,000	13320	799200	893,980	580,262	569,084	-11,178	-6,262
237,967	14278	856680	925,570	580,262	569,141	-11,121	-6,230
239,967	14398	863880	929,451	580,262	569,061	-11,201	-6,275
241,967	14518	871080	933,317	580,262	568,904	-11,358	-6,363
243,967	14638	878280	937,166	580,262	568,768	-11,494	-6,439
245,967	14758	885480	940,999	580,262	568,619	-11,643	-6,523
						S [m ²]	0,001785
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,012000

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z5							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	549,800	549,800	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	549,800	550,709	0,909	0,501
0,050	3	180	13,416	549,800	550,700	0,900	0,496
0,083	5	300	17,321	549,800	550,676	0,876	0,483
0,167	10	600	24,495	549,800	550,657	0,857	0,472
0,250	15	900	30,000	549,800	550,653	0,853	0,470
0,500	30	1800	42,426	549,800	550,588	0,788	0,434
1,000	60	3600	60,000	549,800	550,372	0,572	0,315
2,000	120	7200	84,853	549,800	550,242	0,442	0,244
3,000	180	10800	103,923	549,800	550,131	0,331	0,182
4,000	240	14400	120,000	549,800	550,124	0,324	0,179
5,000	300	18000	134,164	549,800	550,072	0,272	0,150
6,000	360	21600	146,969	549,800	549,973	0,173	0,095
7,000	420	25200	158,745	549,800	549,895	0,095	0,052
8,000	480	28800	169,706	549,800	549,714	-0,086	-0,047
21,967	1318	79080	281,212	549,800	548,355	-1,445	-0,796
22,967	1378	82680	287,541	549,800	548,199	-1,601	-0,882
23,967	1438	86280	293,735	549,800	548,047	-1,753	-0,966
24,967	1498	89880	299,800	549,800	547,967	-1,833	-1,010
25,967	1558	93480	305,745	549,800	547,702	-2,098	-1,156
26,967	1618	97080	311,577	549,800	547,490	-2,310	-1,273
27,967	1678	100680	317,301	549,800	547,302	-2,498	-1,376
28,967	1738	104280	322,924	549,800	547,118	-2,682	-1,478
29,967	1798	107880	328,451	549,800	546,775	-3,025	-1,667
30,967	1858	111480	333,886	549,800	546,611	-3,189	-1,757
46,000	2760	165600	406,940	549,800	545,269	-4,531	-2,496
47,000	2820	169200	411,339	549,800	545,147	-4,653	-2,564
48,000	2880	172800	415,692	549,800	545,050	-4,750	-2,617
49,000	2940	176400	420,000	549,800	544,868	-4,932	-2,717
50,000	3000	180000	424,264	549,800	544,726	-5,074	-2,796
51,000	3060	183600	428,486	549,800	544,546	-5,254	-2,895

52,000	3120	187200	432,666	549,800	544,412	-5,388	-2,969
53,000	3180	190800	436,807	549,800	544,259	-5,541	-3,053
54,000	3240	194400	440,908	549,800	544,206	-5,594	-3,082
55,000	3300	198000	444,972	549,800	543,940	-5,860	-3,229
71,967	4318	259080	508,999	549,800	542,547	-7,253	-3,996
72,967	4378	262680	512,523	549,800	542,409	-7,391	-4,072
73,967	4438	266280	516,023	549,800	542,220	-7,580	-4,176
74,967	4498	269880	519,500	549,800	542,189	-7,611	-4,193
75,967	4558	273480	522,953	549,800	541,990	-7,810	-4,303
76,967	4618	277080	526,384	549,800	542,007	-7,793	-4,294
77,967	4678	280680	529,792	549,800	541,927	-7,873	-4,338
78,967	4738	284280	533,179	549,800	541,780	-8,020	-4,419
79,967	4798	287880	536,544	549,800	541,791	-8,009	-4,413
101,000	6060	363600	602,993	549,800	540,718	-9,082	-5,004
142,967	8578	514680	717,412	549,800	538,940	-10,860	-5,983
146,967	8818	529080	727,379	549,800	538,652	-11,148	-6,142
150,967	9058	543480	737,211	549,800	538,374	-11,426	-6,295
179,000	10740	644400	802,745	549,800	537,974	-11,826	-6,516
189,967	11398	683880	826,970	549,800	537,796	-12,004	-6,614
191,967	11518	691080	831,312	549,800	537,582	-12,218	-6,732
193,967	11638	698280	835,631	549,800	537,561	-12,239	-6,743
195,967	11758	705480	839,929	549,800	537,347	-12,453	-6,861
197,967	11878	712680	844,204	549,800	537,348	-12,452	-6,861
198,967	11938	716280	846,333	549,800	537,311	-12,489	-6,881
214,000	12840	770400	877,724	549,800	537,413	-12,387	-6,825
216,000	12960	777600	881,816	549,800	537,376	-12,424	-6,845
218,000	13080	784800	885,889	549,800	537,222	-12,578	-6,930
220,000	13200	792000	889,944	549,800	537,264	-12,536	-6,907
222,000	13320	799200	893,980	549,800	537,329	-12,471	-6,871
237,967	14278	856680	925,570	549,800	537,078	-12,722	-7,009
239,967	14398	863880	929,451	549,800	537,097	-12,703	-6,999
241,967	14518	871080	933,317	549,800	536,954	-12,846	-7,078
243,967	14638	878280	937,166	549,800	536,619	-13,181	-7,262
245,967	14758	885480	940,999	549,800	536,554	-13,246	-7,298
						S [m²]	0,001815
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	-0,035000

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z6							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	675,339	675,339	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	675,339	675,963	0,624	0,310
0,050	3	180	13,416	675,339	675,980	0,641	0,318
0,083	5	300	17,321	675,339	675,937	0,598	0,297
0,167	10	600	24,495	675,339	675,957	0,618	0,307
0,250	15	900	30,000	675,339	675,936	0,597	0,296
0,500	30	1800	42,426	675,339	675,945	0,606	0,301
1,000	60	3600	60,000	675,339	676,042	0,703	0,349

2,000	120	7200	84,853	675,339	676,093	0,754	0,374
3,000	180	10800	103,923	675,339	675,957	0,618	0,307
4,000	240	14400	120,000	675,339	676,035	0,696	0,346
5,000	300	18000	134,164	675,339	676,106	0,767	0,381
6,000	360	21600	146,969	675,339	675,998	0,659	0,327
7,000	420	25200	158,745	675,339	675,909	0,570	0,283
8,000	480	28800	169,706	675,339	675,897	0,558	0,277
21,967	1318	79080	281,212	675,339	674,992	-0,347	-0,172
22,967	1378	82680	287,541	675,339	674,983	-0,356	-0,177
23,967	1438	86280	293,735	675,339	674,912	-0,427	-0,212
24,967	1498	89880	299,800	675,339	674,612	-0,727	-0,361
25,967	1558	93480	305,745	675,339	674,478	-0,861	-0,428
26,967	1618	97080	311,577	675,339	674,211	-1,128	-0,560
27,967	1678	100680	317,301	675,339	674,136	-1,203	-0,597
28,967	1738	104280	322,924	675,339	673,871	-1,468	-0,729
29,967	1798	107880	328,451	675,339	673,649	-1,690	-0,839
30,967	1858	111480	333,886	675,339	673,385	-1,954	-0,970
46,000	2760	165600	406,940	675,339	672,312	-3,027	-1,503
47,000	2820	169200	411,339	675,339	672,105	-3,234	-1,606
48,000	2880	172800	415,692	675,339	672,047	-3,292	-1,635
49,000	2940	176400	420,000	675,339	671,944	-3,395	-1,686
50,000	3000	180000	424,264	675,339	671,662	-3,677	-1,826
51,000	3060	183600	428,486	675,339	671,408	-3,931	-1,952
52,000	3120	187200	432,666	675,339	671,261	-4,078	-2,025
53,000	3180	190800	436,807	675,339	671,094	-4,245	-2,108
54,000	3240	194400	440,908	675,339	670,965	-4,374	-2,172
55,000	3300	198000	444,972	675,339	670,690	-4,649	-2,308
71,967	4318	259080	508,999	675,339	669,174	-6,165	-3,061
72,967	4378	262680	512,523	675,339	669,027	-6,312	-3,134
73,967	4438	266280	516,023	675,339	668,941	-6,398	-3,177
74,967	4498	269880	519,500	675,339	668,900	-6,439	-3,197
75,967	4558	273480	522,953	675,339	668,684	-6,655	-3,304
76,967	4618	277080	526,384	675,339	668,559	-6,780	-3,366
77,967	4678	280680	529,792	675,339	668,372	-6,967	-3,459
78,967	4738	284280	533,179	675,339	668,218	-7,121	-3,536
79,967	4798	287880	536,544	675,339	668,177	-7,162	-3,556
101,000	6060	363600	602,993	675,339	667,124	-8,215	-4,079
142,967	8578	514680	717,412	675,339	665,344	-9,995	-4,963
146,967	8818	529080	727,379	675,339	665,190	-10,149	-5,039
150,967	9058	543480	737,211	675,339	664,968	-10,371	-5,149
179,000	10740	644400	802,745	675,339	664,445	-10,894	-5,409
189,967	11398	683880	826,970	675,339	664,210	-11,129	-5,526
191,967	11518	691080	831,312	675,339	664,085	-11,254	-5,588
193,967	11638	698280	835,631	675,339	663,839	-11,500	-5,710
195,967	11758	705480	839,929	675,339	663,648	-11,691	-5,805
197,967	11878	712680	844,204	675,339	663,612	-11,727	-5,823
198,967	11938	716280	846,333	675,339	663,630	-11,709	-5,814
214,000	12840	770400	877,724	675,339	663,636	-11,703	-5,811
216,000	12960	777600	881,816	675,339	663,633	-11,706	-5,812
218,000	13080	784800	885,889	675,339	663,532	-11,807	-5,862

220,000	13200	792000	889,944	675,339	663,435	-11,904	-5,911
222,000	13320	799200	893,980	675,339	663,510	-11,829	-5,873
237,967	14278	856680	925,570	675,339	663,244	-12,095	-6,005
239,967	14398	863880	929,451	675,339	663,150	-12,189	-6,052
241,967	14518	871080	933,317	675,339	663,191	-12,148	-6,032
243,967	14638	878280	937,166	675,339	663,014	-12,325	-6,120
245,967	14758	885480	940,999	675,339	662,683	-12,656	-6,284
						S [m ²]	0,002014
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,011050

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z7							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	603,260	603,260	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	603,260	603,374	0,114	0,063
0,050	3	180	13,416	603,260	603,394	0,134	0,074
0,083	5	300	17,321	603,260	603,473	0,213	0,117
0,167	10	600	24,495	603,260	603,514	0,254	0,140
0,250	15	900	30,000	603,260	603,542	0,282	0,155
0,500	30	1800	42,426	603,260	603,597	0,337	0,185
1,000	60	3600	60,000	603,260	603,743	0,483	0,265
2,000	120	7200	84,853	603,260	604,005	0,745	0,409
3,000	180	10800	103,923	603,260	604,224	0,964	0,530
4,000	240	14400	120,000	603,260	604,444	1,184	0,651
5,000	300	18000	134,164	603,260	604,649	1,389	0,763
6,000	360	21600	146,969	603,260	604,826	1,566	0,860
7,000	420	25200	158,745	603,260	604,995	1,735	0,953
18,750	1125	67500	259,808	603,260	606,779	3,519	1,934
19,750	1185	71100	266,646	603,260	606,820	3,560	1,956
20,750	1245	74700	273,313	603,260	606,918	3,658	2,010
21,750	1305	78300	279,821	603,260	607,004	3,744	2,057
22,750	1365	81900	286,182	603,260	607,088	3,828	2,103
23,750	1425	85500	292,404	603,260	607,173	3,913	2,150
24,750	1485	89100	298,496	603,260	607,227	3,967	2,180
25,750	1545	92700	304,467	603,260	607,317	4,057	2,229
26,750	1605	96300	310,322	603,260	607,398	4,138	2,274
27,750	1665	99900	316,070	603,260	607,498	4,238	2,329
28,750	1725	103500	321,714	603,260	607,559	4,299	2,362
29,750	1785	107100	327,261	603,260	607,637	4,377	2,405
30,750	1845	110700	332,716	603,260	607,783	4,523	2,485
44,783	2687	161220	401,522	603,260	609,075	5,815	3,195
45,783	2747	164820	405,980	603,260	609,137	5,877	3,229
46,783	2807	168420	410,390	603,260	609,193	5,933	3,260
47,783	2867	172020	414,753	603,260	609,232	5,972	3,281
48,783	2927	175620	419,070	603,260	609,290	6,030	3,313
49,783	2987	179220	423,344	603,260	609,246	5,986	3,289
50,783	3047	182820	427,575	603,260	609,336	6,076	3,338
51,783	3107	186420	431,764	603,260	609,380	6,120	3,363

52,783	3167	190020	435,913	603,260	609,427	6,167	3,388
53,783	3227	193620	440,023	603,260	609,428	6,168	3,389
68,750	4125	247500	497,494	603,260	610,629	7,369	4,049
69,750	4185	251100	501,099	603,260	610,588	7,328	4,026
70,750	4245	254700	504,678	603,260	610,618	7,358	4,043
71,750	4305	258300	508,232	603,260	610,570	7,310	4,016
72,750	4365	261900	511,762	603,260	610,635	7,375	4,052
73,750	4425	265500	515,267	603,260	610,648	7,388	4,059
74,750	4485	269100	518,748	603,260	610,600	7,340	4,033
75,750	4545	272700	522,207	603,260	610,687	7,427	4,081
76,750	4605	276300	525,642	603,260	610,780	7,520	4,132
77,750	4665	279900	529,056	603,260	610,831	7,571	4,160
94,783	5687	341220	584,140	603,260	611,902	8,642	4,748
95,783	5747	344820	587,214	603,260	611,955	8,695	4,777
96,783	5807	348420	590,271	603,260	611,993	8,733	4,798
97,783	5867	352020	593,313	603,260	611,959	8,699	4,780
98,783	5927	355620	596,339	603,260	612,051	8,791	4,830
99,783	5987	359220	599,350	603,260	611,945	8,685	4,772
100,783	6047	362820	602,345	603,260	612,071	8,811	4,841
101,783	6107	366420	605,326	603,260	612,049	8,789	4,829
102,783	6167	370020	608,293	603,260	612,183	8,923	4,903
123,750	7425	445500	667,458	603,260	613,541	10,281	5,649
165,783	9947	596820	772,541	603,260	615,826	12,566	6,904
169,783	10187	611220	781,806	603,260	616,035	12,775	7,019
173,783	10427	625620	790,961	603,260	616,146	12,886	7,080
201,750	12105	726300	852,232	603,260	615,661	12,401	6,814
212,783	12767	766020	875,226	603,260	618,268	15,008	8,246
214,783	12887	773220	879,329	603,260	618,335	15,075	8,283
216,783	13007	780420	883,414	603,260	618,425	15,165	8,332
218,783	13127	787620	887,480	603,260	618,336	15,076	8,284
220,783	13247	794820	891,527	603,260	618,478	15,218	8,362
221,783	13307	798420	893,544	603,260	618,448	15,188	8,345
236,750	14205	852300	923,201	603,260	619,392	16,132	8,864
238,750	14325	859500	927,092	603,260	619,387	16,127	8,861
240,750	14445	866700	930,967	603,260	619,412	16,152	8,875
242,750	14565	873900	934,826	603,260	619,396	16,136	8,866
244,750	14685	881100	938,669	603,260	619,443	16,183	8,892
260,783	15647	938820	968,927	603,260	620,565	17,305	9,508
262,783	15767	946020	972,636	603,260	620,613	17,353	9,535
264,783	15887	953220	976,330	603,260	620,674	17,414	9,568
266,783	16007	960420	980,010	603,260	620,667	17,407	9,564
268,783	16127	967620	983,677	603,260	620,677	17,417	9,570
						S [m²]	0,001820
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,036000

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z8							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	600,133	600,133	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	600,133	600,263	0,130	0,062
0,050	3	180	13,416	600,133	600,291	0,158	0,076
0,083	5	300	17,321	600,133	600,320	0,187	0,090
0,167	10	600	24,495	600,133	600,367	0,234	0,112
0,250	15	900	30,000	600,133	600,375	0,242	0,116
0,500	30	1800	42,426	600,133	600,456	0,323	0,155
1,000	60	3600	60,000	600,133	600,611	0,478	0,230
2,000	120	7200	84,853	600,133	600,908	0,775	0,373
3,000	180	10800	103,923	600,133	601,106	0,973	0,468
4,000	240	14400	120,000	600,133	601,312	1,179	0,567
5,000	300	18000	134,164	600,133	601,479	1,346	0,647
6,000	360	21600	146,969	600,133	601,666	1,533	0,737
7,000	420	25200	158,745	600,133	601,834	1,701	0,818
18,750	1125	67500	259,808	600,133	603,408	3,275	1,575
19,750	1185	71100	266,646	600,133	603,408	3,275	1,575
20,750	1245	74700	273,313	600,133	603,524	3,391	1,630
21,750	1305	78300	279,821	600,133	603,588	3,455	1,661
22,750	1365	81900	286,182	600,133	603,666	3,533	1,699
23,750	1425	85500	292,404	600,133	603,764	3,631	1,746
24,750	1485	89100	298,496	600,133	603,874	3,741	1,799
25,750	1545	92700	304,467	600,133	604,009	3,876	1,863
26,750	1605	96300	310,322	600,133	604,056	3,923	1,886
27,750	1665	99900	316,070	600,133	604,174	4,041	1,943
28,750	1725	103500	321,714	600,133	604,333	4,200	2,019
29,750	1785	107100	327,261	600,133	604,449	4,316	2,075
30,750	1845	110700	332,716	600,133	604,520	4,387	2,109
44,783	2687	161220	401,522	600,133	605,919	5,786	2,782
45,783	2747	164820	405,980	600,133	605,983	5,850	2,812
46,783	2807	168420	410,390	600,133	605,963	5,830	2,803
47,783	2867	172020	414,753	600,133	605,988	5,855	2,815
48,783	2927	175620	419,070	600,133	606,049	5,916	2,844
49,783	2987	179220	423,344	600,133	606,122	5,989	2,879
50,783	3047	182820	427,575	600,133	606,174	6,041	2,904
51,783	3107	186420	431,764	600,133	606,160	6,027	2,898
52,783	3167	190020	435,913	600,133	606,228	6,095	2,930
53,783	3227	193620	440,023	600,133	606,315	6,182	2,972
68,750	4125	247500	497,494	600,133	607,619	7,486	3,599
69,750	4185	251100	501,099	600,133	607,642	7,509	3,610
70,750	4245	254700	504,678	600,133	607,667	7,534	3,622
71,750	4305	258300	508,232	600,133	607,745	7,612	3,660
72,750	4365	261900	511,762	600,133	607,745	7,612	3,660
73,750	4425	265500	515,267	600,133	607,759	7,626	3,666
74,750	4485	269100	518,748	600,133	607,702	7,569	3,639
75,750	4545	272700	522,207	600,133	607,789	7,656	3,681
76,750	4605	276300	525,642	600,133	607,781	7,648	3,677

77,750	4665	279900	529,056	600,133	607,858	7,725	3,714
94,783	5687	341220	584,140	600,133	609,235	9,102	4,376
95,783	5747	344820	587,214	600,133	609,124	8,991	4,323
96,783	5807	348420	590,271	600,133	609,166	9,033	4,343
97,783	5867	352020	593,313	600,133	609,318	9,185	4,416
98,783	5927	355620	596,339	600,133	609,246	9,113	4,381
99,783	5987	359220	599,350	600,133	609,234	9,101	4,375
100,783	6047	362820	602,345	600,133	609,448	9,315	4,478
101,783	6107	366420	605,326	600,133	609,371	9,238	4,441
102,783	6167	370020	608,293	600,133	609,303	9,170	4,409
123,750	7425	445500	667,458	600,133	610,954	10,821	5,202
165,783	9947	596820	772,541	600,133	613,766	13,633	6,554
169,783	10187	611220	781,806	600,133	613,834	13,701	6,587
173,783	10427	625620	790,961	600,133	614,233	14,100	6,779
201,750	12105	726300	852,232	600,133	617,580	17,447	8,388
212,783	12767	766020	875,226	600,133	616,390	16,257	7,816
214,783	12887	773220	879,329	600,133	616,512	16,379	7,875
216,783	13007	780420	883,414	600,133	616,655	16,522	7,943
218,783	13127	787620	887,480	600,133	616,561	16,428	7,898
220,783	13247	794820	891,527	600,133	616,652	16,519	7,942
221,783	13307	798420	893,544	600,133	616,654	16,521	7,943
236,750	14205	852300	923,201	600,133	617,678	17,545	8,435
238,750	14325	859500	927,092	600,133	617,708	17,575	8,450
240,750	14445	866700	930,967	600,133	617,770	17,637	8,479
242,750	14565	873900	934,826	600,133	617,701	17,568	8,446
244,750	14685	881100	938,669	600,133	617,899	17,766	8,541
260,783	15647	938820	968,927	600,133	618,885	18,752	9,015
262,783	15767	946020	972,636	600,133	619,002	18,869	9,072
264,783	15887	953220	976,330	600,133	618,928	18,795	9,036
266,783	16007	960420	980,010	600,133	619,025	18,892	9,083
268,783	16127	967620	983,677	600,133	618,982	18,849	9,062
						S [m²]	0,002080
						A [kg/(m².s ^½)]	0,039250

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

Z9							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	629,125	629,125	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	629,125	629,250	0,125	0,056
0,050	3	180	13,416	629,125	629,336	0,211	0,095
0,083	5	300	17,321	629,125	629,388	0,263	0,118
0,167	10	600	24,495	629,125	629,470	0,345	0,155
0,250	15	900	30,000	629,125	629,499	0,374	0,168
0,500	30	1800	42,426	629,125	629,533	0,408	0,183
1,000	60	3600	60,000	629,125	629,941	0,816	0,367
2,000	120	7200	84,853	629,125	630,218	1,093	0,491
3,000	180	10800	103,923	629,125	630,406	1,281	0,575
4,000	240	14400	120,000	629,125	630,602	1,477	0,664

5,000	300	18000	134,164	629,125	630,748	1,623	0,729
6,000	360	21600	146,969	629,125	630,957	1,832	0,823
7,000	420	25200	158,745	629,125	631,085	1,960	0,881
18,750	1125	67500	259,808	629,125	632,666	3,541	1,591
19,750	1185	71100	266,646	629,125	632,629	3,504	1,574
20,750	1245	74700	273,313	629,125	632,669	3,544	1,592
21,750	1305	78300	279,821	629,125	632,754	3,629	1,630
22,750	1365	81900	286,182	629,125	632,831	3,706	1,665
23,750	1425	85500	292,404	629,125	632,910	3,785	1,700
24,750	1485	89100	298,496	629,125	633,072	3,947	1,773
25,750	1545	92700	304,467	629,125	633,109	3,984	1,790
26,750	1605	96300	310,322	629,125	633,161	4,036	1,813
27,750	1665	99900	316,070	629,125	633,317	4,192	1,883
28,750	1725	103500	321,714	629,125	633,379	4,254	1,911
29,750	1785	107100	327,261	629,125	633,564	4,439	1,994
30,750	1845	110700	332,716	629,125	633,560	4,435	1,992
44,783	2687	161220	401,522	629,125	634,895	5,770	2,592
45,783	2747	164820	405,980	629,125	634,950	5,825	2,617
46,783	2807	168420	410,390	629,125	634,988	5,863	2,634
47,783	2867	172020	414,753	629,125	634,977	5,852	2,629
48,783	2927	175620	419,070	629,125	635,059	5,934	2,666
49,783	2987	179220	423,344	629,125	635,023	5,898	2,650
50,783	3047	182820	427,575	629,125	635,053	5,928	2,663
51,783	3107	186420	431,764	629,125	635,148	6,023	2,706
52,783	3167	190020	435,913	629,125	635,390	6,265	2,814
53,783	3227	193620	440,023	629,125	635,228	6,103	2,742
68,750	4125	247500	497,494	629,125	636,489	7,364	3,308
69,750	4185	251100	501,099	629,125	636,411	7,286	3,273
70,750	4245	254700	504,678	629,125	636,433	7,308	3,283
71,750	4305	258300	508,232	629,125	636,467	7,342	3,298
72,750	4365	261900	511,762	629,125	636,557	7,432	3,339
73,750	4425	265500	515,267	629,125	636,500	7,375	3,313
74,750	4485	269100	518,748	629,125	636,569	7,444	3,344
75,750	4545	272700	522,207	629,125	636,503	7,378	3,314
76,750	4605	276300	525,642	629,125	636,598	7,473	3,357
77,750	4665	279900	529,056	629,125	636,714	7,589	3,409
94,783	5687	341220	584,140	629,125	637,748	8,623	3,874
95,783	5747	344820	587,214	629,125	637,671	8,546	3,839
96,783	5807	348420	590,271	629,125	637,785	8,660	3,890
97,783	5867	352020	593,313	629,125	637,712	8,587	3,858
98,783	5927	355620	596,339	629,125	637,826	8,701	3,909
99,783	5987	359220	599,350	629,125	637,842	8,717	3,916
100,783	6047	362820	602,345	629,125	637,900	8,775	3,942
101,783	6107	366420	605,326	629,125	637,958	8,833	3,968
102,783	6167	370020	608,293	629,125	638,005	8,880	3,989
123,750	7425	445500	667,458	629,125	639,334	10,209	4,586
165,783	9947	596820	772,541	629,125	641,726	12,601	5,661
169,783	10187	611220	781,806	629,125	641,716	12,591	5,656
173,783	10427	625620	790,961	629,125	641,717	12,592	5,657
201,750	12105	726300	852,232	629,125	643,202	14,077	6,324

212,783	12767	766020	875,226	629,125	643,887	14,762	6,632
214,783	12887	773220	879,329	629,125	643,711	14,586	6,553
216,783	13007	780420	883,414	629,125	643,762	14,637	6,575
218,783	13127	787620	887,480	629,125	643,733	14,608	6,562
220,783	13247	794820	891,527	629,125	643,926	14,801	6,649
221,783	13307	798420	893,544	629,125	643,932	14,807	6,652
236,750	14205	852300	923,201	629,125	644,680	15,555	6,988
238,750	14325	859500	927,092	629,125	644,841	15,716	7,060
240,750	14445	866700	930,967	629,125	644,903	15,778	7,088
242,750	14565	873900	934,826	629,125	644,969	15,844	7,118
244,750	14685	881100	938,669	629,125	644,933	15,808	7,102
260,783	15647	938820	968,927	629,125	645,893	16,768	7,533
262,783	15767	946020	972,636	629,125	645,790	16,665	7,487
264,783	15887	953220	976,330	629,125	645,985	16,860	7,574
266,783	16007	960420	980,010	629,125	645,926	16,801	7,548
268,783	16127	967620	983,677	629,125	645,845	16,720	7,511
						S [m ²]	0,002226
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,060950

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A1							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	375,436	375,436	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	375,436	381,814	6,378	3,851
0,050	3	180	13,416	375,436	382,831	7,395	4,466
0,083	5	300	17,321	375,436	384,265	8,829	5,332
0,167	10	600	24,495	375,436	385,252	9,816	5,928
0,250	15	900	30,000	375,436	385,652	10,216	6,169
0,500	30	1800	42,426	375,436	387,803	12,367	7,468
1,000	60	3600	60,000	375,436	388,807	13,371	8,074
2,000	120	7200	84,853	375,436	389,822	14,386	8,687
3,000	180	10800	103,923	375,436	390,462	15,026	9,074
4,000	240	14400	120,000	375,436	390,625	15,189	9,172
5,000	300	18000	134,164	375,436	391,110	15,674	9,465
6,000	360	21600	146,969	375,436	391,193	15,757	9,515
7,000	420	25200	158,745	375,436	391,329	15,893	9,597
8,000	480	28800	169,706	375,436	391,556	16,120	9,734
9,000	540	32400	180,000	375,436	391,730	16,294	9,839
23,650	1419	85140	291,788	375,436	392,793	17,357	10,481
24,650	1479	88740	297,893	375,436	392,961	17,525	10,583
25,650	1539	92340	303,875	375,436	392,631	17,195	10,383
26,650	1599	95940	309,742	375,436	392,836	17,400	10,507
27,650	1659	99540	315,500	375,436	392,667	17,231	10,405
28,650	1719	103140	321,154	375,436	392,770	17,334	10,467
29,650	1779	106740	326,711	375,436	392,655	17,219	10,398
30,650	1839	110340	332,175	375,436	392,627	17,191	10,381
31,650	1899	113940	337,550	375,436	392,689	17,253	10,418
32,650	1959	117540	342,841	375,436	392,766	17,330	10,465

47,500	2850	171000	413,521	375,436	393,334	17,898	10,808
48,500	2910	174600	417,852	375,436	393,346	17,910	10,815
49,500	2970	178200	422,137	375,436	393,313	17,877	10,795
50,500	3030	181800	426,380	375,436	393,112	17,676	10,674
51,500	3090	185400	430,581	375,436	392,289	16,853	10,177
52,500	3150	189000	434,741	375,436	393,364	17,928	10,826
53,500	3210	192600	438,862	375,436	393,163	17,727	10,705
54,500	3270	196200	442,945	375,436	393,445	18,009	10,875
55,500	3330	199800	446,990	375,436	393,284	17,848	10,778
71,650	4299	257940	507,878	375,436	393,327	17,891	10,804
72,650	4359	261540	511,410	375,436	393,595	18,159	10,966
73,650	4419	265140	514,917	375,436	393,190	17,754	10,721
74,650	4479	268740	518,401	375,436	393,417	17,981	10,858
75,650	4539	272340	521,862	375,436	393,479	18,043	10,896
76,650	4599	275940	525,300	375,436	393,505	18,069	10,911
77,650	4659	279540	528,715	375,436	393,463	18,027	10,886
78,650	4719	283140	532,109	375,436	393,371	17,935	10,830
79,650	4779	286740	535,481	375,436	393,367	17,931	10,828
80,650	4839	290340	538,832	375,436	393,349	17,913	10,817
95,500	5730	343800	586,345	375,436	393,344	17,908	10,814
96,500	5790	347400	589,406	375,436	393,420	17,984	10,860
97,500	5850	351000	592,453	375,436	393,450	18,014	10,878
98,500	5910	354600	595,483	375,436	393,423	17,987	10,862
99,500	5970	358200	598,498	375,436	393,266	17,830	10,767
100,500	6030	361800	601,498	375,436	393,301	17,865	10,788
101,500	6090	365400	604,483	375,436	393,385	17,949	10,839
102,500	6150	369000	607,454	375,436	393,275	17,839	10,772
103,500	6210	372600	610,410	375,436	393,430	17,994	10,866
104,500	6270	376200	613,351	375,436	393,130	17,694	10,685
164,600	9876	592560	769,779	375,436	393,155	17,719	10,700
166,600	9996	599760	774,442	375,436	393,295	17,859	10,784
168,600	10116	606960	779,076	375,436	393,458	18,022	10,883
170,600	10236	614160	783,684	375,436	393,511	18,075	10,915
172,600	10356	621360	788,264	375,436	393,622	18,186	10,982
174,600	10476	628560	792,818	375,436	393,569	18,133	10,950
176,600	10596	635760	797,346	375,436	393,671	18,235	11,011
188,500	11310	678600	823,772	375,436	393,886	18,450	11,141
190,500	11430	685800	828,130	375,436	393,537	18,101	10,931
192,500	11550	693000	832,466	375,436	393,776	18,340	11,075
194,500	11670	700200	836,780	375,436	393,629	18,193	10,986
196,500	11790	707400	841,071	375,436	393,718	18,282	11,040
198,500	11910	714600	845,340	375,436	393,919	18,483	11,161
200,500	12030	721800	849,588	375,436	393,929	18,493	11,167
214,600	12876	772560	878,954	375,436	393,636	18,200	10,990
216,600	12996	779760	883,040	375,436	393,734	18,298	11,050
218,600	13116	786960	887,108	375,436	393,938	18,502	11,173
220,600	13236	794160	891,157	375,436	393,723	18,287	11,043
222,600	13356	801360	895,187	375,436	393,877	18,441	11,136
223,600	13416	804960	897,196	375,436	394,029	18,593	11,228
238,500	14310	858600	926,607	375,436	393,893	18,457	11,146

240,500	14430	865800	930,484	375,436	393,917	18,481	11,160
242,500	14550	873000	934,345	375,436	394,038	18,602	11,233
244,500	14670	880200	938,190	375,436	393,912	18,476	11,157
246,500	14790	887400	942,019	375,436	394,130	18,694	11,289
247,500	14850	891000	943,928	375,436	394,062	18,626	11,248
264,600	15876	952560	975,992	375,436	393,906	18,470	11,153
266,600	15996	959760	979,673	375,436	393,801	18,365	11,090
268,600	16116	966960	983,341	375,436	393,794	18,358	11,086
270,600	16236	974160	986,995	375,436	393,817	18,381	11,100
271,600	16296	977760	988,817	375,436	393,807	18,371	11,094
						S [m ²]	0,001656
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,406250

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A2							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	423,180	423,180	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	423,180	428,902	5,722	3,696
0,050	3	180	13,416	423,180	430,258	7,078	4,572
0,083	5	300	17,321	423,180	431,933	8,753	5,654
0,167	10	600	24,495	423,180	433,676	10,496	6,780
0,250	15	900	30,000	423,180	433,990	10,810	6,983
0,500	30	1800	42,426	423,180	435,095	11,915	7,697
1,000	60	3600	60,000	423,180	436,207	13,027	8,415
2,000	120	7200	84,853	423,180	437,196	14,016	9,054
3,000	180	10800	103,923	423,180	437,723	14,543	9,395
4,000	240	14400	120,000	423,180	438,426	15,246	9,849
5,000	300	18000	134,164	423,180	438,914	15,734	10,164
6,000	360	21600	146,969	423,180	439,133	15,953	10,306
7,000	420	25200	158,745	423,180	439,052	15,872	10,253
8,000	480	28800	169,706	423,180	439,515	16,335	10,552
9,000	540	32400	180,000	423,180	439,765	16,585	10,714
23,650	1419	85140	291,788	423,180	442,151	18,971	12,255
24,650	1479	88740	297,893	423,180	442,149	18,969	12,254
25,650	1539	92340	303,875	423,180	442,159	18,979	12,260
26,650	1599	95940	309,742	423,180	442,180	19,000	12,274
27,650	1659	99540	315,500	423,180	442,124	18,944	12,238
28,650	1719	103140	321,154	423,180	442,228	19,048	12,305
29,650	1779	106740	326,711	423,180	442,276	19,096	12,336
30,650	1839	110340	332,175	423,180	442,204	19,024	12,289
31,650	1899	113940	337,550	423,180	442,347	19,167	12,382
32,650	1959	117540	342,841	423,180	442,308	19,128	12,357
47,500	2850	171000	413,521	423,180	443,298	20,118	12,996
48,500	2910	174600	417,852	423,180	443,180	20,000	12,920
49,500	2970	178200	422,137	423,180	443,000	19,820	12,804
50,500	3030	181800	426,380	423,180	442,648	19,468	12,576
51,500	3090	185400	430,581	423,180	442,829	19,649	12,693
52,500	3150	189000	434,741	423,180	442,815	19,635	12,684

53,500	3210	192600	438,862	423,180	442,979	19,799	12,790
54,500	3270	196200	442,945	423,180	442,872	19,692	12,721
55,500	3330	199800	446,990	423,180	442,889	19,709	12,732
71,650	4299	257940	507,878	423,180	443,588	20,408	13,183
72,650	4359	261540	511,410	423,180	443,584	20,404	13,181
73,650	4419	265140	514,917	423,180	443,387	20,207	13,054
74,650	4479	268740	518,401	423,180	443,321	20,141	13,011
75,650	4539	272340	521,862	423,180	443,276	20,096	12,982
76,650	4599	275940	525,300	423,180	443,309	20,129	13,003
77,650	4659	279540	528,715	423,180	443,357	20,177	13,034
78,650	4719	283140	532,109	423,180	443,069	19,889	12,848
79,650	4779	286740	535,481	423,180	443,122	19,942	12,882
80,650	4839	290340	538,832	423,180	443,231	20,051	12,953
95,500	5730	343800	586,345	423,180	443,657	20,477	13,228
96,500	5790	347400	589,406	423,180	443,603	20,423	13,193
97,500	5850	351000	592,453	423,180	443,565	20,385	13,169
98,500	5910	354600	595,483	423,180	443,438	20,258	13,087
99,500	5970	358200	598,498	423,180	443,293	20,113	12,993
100,500	6030	361800	601,498	423,180	443,320	20,140	13,010
101,500	6090	365400	604,483	423,180	443,295	20,115	12,994
102,500	6150	369000	607,454	423,180	443,197	20,017	12,931
103,500	6210	372600	610,410	423,180	443,187	20,007	12,924
104,500	6270	376200	613,351	423,180	443,183	20,003	12,922
164,600	9876	592560	769,779	423,180	443,163	19,983	12,909
166,600	9996	599760	774,442	423,180	442,991	19,811	12,798
168,600	10116	606960	779,076	423,180	443,251	20,071	12,966
170,600	10236	614160	783,684	423,180	443,154	19,974	12,903
172,600	10356	621360	788,264	423,180	442,980	19,800	12,791
174,600	10476	628560	792,818	423,180	442,731	19,551	12,630
176,600	10596	635760	797,346	423,180	442,741	19,561	12,636
188,500	11310	678600	823,772	423,180	443,475	20,295	13,110
190,500	11430	685800	828,130	423,180	443,252	20,072	12,966
192,500	11550	693000	832,466	423,180	443,363	20,183	13,038
194,500	11670	700200	836,780	423,180	443,504	20,324	13,129
196,500	11790	707400	841,071	423,180	443,384	20,204	13,052
198,500	11910	714600	845,340	423,180	443,368	20,188	13,041
200,500	12030	721800	849,588	423,180	443,416	20,236	13,072
214,600	12876	772560	878,954	423,180	443,670	20,490	13,236
216,600	12996	779760	883,040	423,180	443,529	20,349	13,145
218,600	13116	786960	887,108	423,180	443,371	20,191	13,043
220,600	13236	794160	891,157	423,180	443,258	20,078	12,970
222,600	13356	801360	895,187	423,180	443,336	20,156	13,021
223,600	13416	804960	897,196	423,180	443,112	19,932	12,876
238,500	14310	858600	926,607	423,180	443,254	20,074	12,968
240,500	14430	865800	930,484	423,180	443,202	20,022	12,934
242,500	14550	873000	934,345	423,180	443,259	20,079	12,971
244,500	14670	880200	938,190	423,180	443,028	19,848	12,822
246,500	14790	887400	942,019	423,180	443,111	19,931	12,875
247,500	14850	891000	943,928	423,180	443,076	19,896	12,853
264,600	15876	952560	975,992	423,180	443,180	20,000	12,920

266,600	15996	959760	979,673	423,180	443,201	20,021	12,933
268,600	16116	966960	983,341	423,180	443,108	19,928	12,873
270,600	16236	974160	986,995	423,180	442,964	19,784	12,780
271,600	16296	977760	988,817	423,180	443,040	19,860	12,829
						S [m²]	0,001548
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,302550

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A3							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	435,079	435,079	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	435,079	442,801	7,722	4,290
0,050	3	180	13,416	435,079	444,757	9,678	5,377
0,083	5	300	17,321	435,079	446,046	10,967	6,093
0,167	10	600	24,495	435,079	446,966	11,887	6,604
0,250	15	900	30,000	435,079	446,995	11,916	6,620
0,500	30	1800	42,426	435,079	464,046	28,967	16,093
1,000	60	3600	60,000	435,079	463,787	28,708	15,949
2,000	120	7200	84,853	435,079	463,600	28,521	15,845
3,000	180	10800	103,923	435,079	463,032	27,953	15,529
4,000	240	14400	120,000	435,079	463,121	28,042	15,579
5,000	300	18000	134,164	435,079	462,827	27,748	15,416
6,000	360	21600	146,969	435,079	462,584	27,505	15,281
7,000	420	25200	158,745	435,079	462,521	27,442	15,246
8,000	480	28800	169,706	435,079	462,210	27,131	15,073
9,000	540	32400	180,000	435,079	462,086	27,007	15,004
23,650	1419	85140	291,788	435,079	461,872	26,793	14,885
24,650	1479	88740	297,893	435,079	461,691	26,612	14,784
25,650	1539	92340	303,875	435,079	461,527	26,448	14,693
26,650	1599	95940	309,742	435,079	461,334	26,255	14,586
27,650	1659	99540	315,500	435,079	461,279	26,200	14,556
28,650	1719	103140	321,154	435,079	461,054	25,975	14,431
29,650	1779	106740	326,711	435,079	460,985	25,906	14,392
30,650	1839	110340	332,175	435,079	461,311	26,232	14,573
31,650	1899	113940	337,550	435,079	461,365	26,286	14,603
32,650	1959	117540	342,841	435,079	461,114	26,035	14,464
47,500	2850	171000	413,521	435,079	461,603	26,524	14,736
48,500	2910	174600	417,852	435,079	461,473	26,394	14,663
49,500	2970	178200	422,137	435,079	461,461	26,382	14,657
50,500	3030	181800	426,380	435,079	460,997	25,918	14,399
51,500	3090	185400	430,581	435,079	461,362	26,283	14,602
52,500	3150	189000	434,741	435,079	461,271	26,192	14,551
53,500	3210	192600	438,862	435,079	461,219	26,140	14,522
54,500	3270	196200	442,945	435,079	461,007	25,928	14,404
55,500	3330	199800	446,990	435,079	461,048	25,969	14,427
71,650	4299	257940	507,878	435,079	461,227	26,148	14,527
72,650	4359	261540	511,410	435,079	460,334	25,255	14,031
73,650	4419	265140	514,917	435,079	461,191	26,112	14,507

74,650	4479	268740	518,401	435,079	461,170	26,091	14,495
75,650	4539	272340	521,862	435,079	461,077	25,998	14,443
76,650	4599	275940	525,300	435,079	460,883	25,804	14,336
77,650	4659	279540	528,715	435,079	460,875	25,796	14,331
78,650	4719	283140	532,109	435,079	460,799	25,720	14,289
79,650	4779	286740	535,481	435,079	460,707	25,628	14,238
80,650	4839	290340	538,832	435,079	460,633	25,554	14,197
95,500	5730	343800	586,345	435,079	460,897	25,818	14,343
96,500	5790	347400	589,406	435,079	460,906	25,827	14,348
97,500	5850	351000	592,453	435,079	460,443	25,364	14,091
98,500	5910	354600	595,483	435,079	460,470	25,391	14,106
99,500	5970	358200	598,498	435,079	460,444	25,365	14,092
100,500	6030	361800	601,498	435,079	460,449	25,370	14,094
101,500	6090	365400	604,483	435,079	460,437	25,358	14,088
102,500	6150	369000	607,454	435,079	460,420	25,341	14,078
103,500	6210	372600	610,410	435,079	460,339	25,260	14,033
104,500	6270	376200	613,351	435,079	460,167	25,088	13,938
164,600	9876	592560	769,779	435,079	460,024	24,945	13,858
166,600	9996	599760	774,442	435,079	460,566	25,487	14,159
168,600	10116	606960	779,076	435,079	460,591	25,512	14,173
170,600	10236	614160	783,684	435,079	460,596	25,517	14,176
172,600	10356	621360	788,264	435,079	460,470	25,391	14,106
174,600	10476	628560	792,818	435,079	460,416	25,337	14,076
176,600	10596	635760	797,346	435,079	460,452	25,373	14,096
188,500	11310	678600	823,772	435,079	460,759	25,680	14,267
190,500	11430	685800	828,130	435,079	460,813	25,734	14,297
192,500	11550	693000	832,466	435,079	460,724	25,645	14,247
194,500	11670	700200	836,780	435,079	460,765	25,686	14,270
196,500	11790	707400	841,071	435,079	460,740	25,661	14,256
198,500	11910	714600	845,340	435,079	460,654	25,575	14,208
200,500	12030	721800	849,588	435,079	460,581	25,502	14,168
214,600	12876	772560	878,954	435,079	460,757	25,678	14,266
216,600	12996	779760	883,040	435,079	460,694	25,615	14,231
218,600	13116	786960	887,108	435,079	460,694	25,615	14,231
220,600	13236	794160	891,157	435,079	460,491	25,412	14,118
222,600	13356	801360	895,187	435,079	460,642	25,563	14,202
223,600	13416	804960	897,196	435,079	460,191	25,112	13,951
238,500	14310	858600	926,607	435,079	460,429	25,350	14,083
240,500	14430	865800	930,484	435,079	460,399	25,320	14,067
242,500	14550	873000	934,345	435,079	460,446	25,367	14,093
244,500	14670	880200	938,190	435,079	460,509	25,430	14,128
246,500	14790	887400	942,019	435,079	460,354	25,275	14,042
247,500	14850	891000	943,928	435,079	460,461	25,382	14,101
264,600	15876	952560	975,992	435,079	460,220	25,141	13,967
266,600	15996	959760	979,673	435,079	460,223	25,144	13,969
268,600	16116	966960	983,341	435,079	460,171	25,092	13,940
270,600	16236	974160	986,995	435,079	460,058	24,979	13,877
271,600	16296	977760	988,817	435,079	460,039	24,960	13,867
						S [m²]	0,001800
						A [kg/(m².s ^½)]	1,672750

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A4							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	537,800	537,800	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	537,800	538,479	0,679	0,316
0,050	3	180	13,416	537,800	538,341	0,541	0,252
0,083	5	300	17,321	537,800	538,316	0,516	0,240
0,167	10	600	24,495	537,800	538,014	0,214	0,100
0,250	15	900	30,000	537,800	537,649	-0,151	-0,070
0,500	30	1800	42,426	537,800	536,842	-0,958	-0,446
1,000	60	3600	60,000	537,800	535,641	-2,159	-1,004
2,000	120	7200	84,853	537,800	534,210	-3,590	-1,670
3,000	180	10800	103,923	537,800	533,182	-4,618	-2,148
4,000	240	14400	120,000	537,800	532,748	-5,052	-2,350
5,000	300	18000	134,164	537,800	531,913	-5,887	-2,738
6,000	360	21600	146,969	537,800	531,372	-6,428	-2,990
7,000	420	25200	158,745	537,800	530,695	-7,105	-3,305
8,000	480	28800	169,706	537,800	530,340	-7,460	-3,470
9,000	540	32400	180,000	537,800	530,141	-7,659	-3,562
10,000	600	36000	189,737	537,800	529,599	-8,201	-3,814
24,100	1446	86760	294,551	537,800	527,793	-10,007	-4,654
25,100	1506	90360	300,599	537,800	527,537	-10,263	-4,773
26,100	1566	93960	306,529	537,800	527,535	-10,265	-4,774
27,100	1626	97560	312,346	537,800	527,410	-10,390	-4,833
28,100	1686	101160	318,057	537,800	527,210	-10,590	-4,926
29,100	1746	104760	323,666	537,800	527,271	-10,529	-4,897
30,100	1806	108360	329,181	537,800	527,124	-10,676	-4,966
31,100	1866	111960	334,604	537,800	526,988	-10,812	-5,029
32,100	1926	115560	339,941	537,800	526,763	-11,037	-5,133
33,100	1986	119160	345,196	537,800	526,737	-11,063	-5,146
48,000	2880	172800	415,692	537,800	526,153	-11,647	-5,417
49,000	2940	176400	420,000	537,800	525,995	-11,805	-5,491
50,000	3000	180000	424,264	537,800	526,063	-11,737	-5,459
51,000	3060	183600	428,486	537,800	525,995	-11,805	-5,491
52,000	3120	187200	432,666	537,800	525,763	-12,037	-5,599
53,000	3180	190800	436,807	537,800	525,682	-12,118	-5,636
54,000	3240	194400	440,908	537,800	525,339	-12,461	-5,796
55,000	3300	198000	444,972	537,800	525,667	-12,133	-5,643
56,000	3360	201600	448,999	537,800	525,539	-12,261	-5,703
57,000	3420	205200	452,990	537,800	525,539	-12,261	-5,703
74,100	4446	266760	516,488	537,800	525,102	-12,698	-5,906
75,100	4506	270360	519,962	537,800	524,931	-12,869	-5,986
76,100	4566	273960	523,412	537,800	524,856	-12,944	-6,020
77,100	4626	277560	526,840	537,800	524,810	-12,990	-6,042
78,100	4686	281160	530,245	537,800	524,870	-12,930	-6,014
79,100	4746	284760	533,629	537,800	524,710	-13,090	-6,088
80,100	4806	288360	536,992	537,800	524,737	-13,063	-6,076
81,100	4866	291960	540,333	537,800	524,529	-13,271	-6,173
82,100	4926	295560	543,654	537,800	524,419	-13,381	-6,224

103,000	6180	370800	608,933	537,800	524,662	-13,138	-6,111
145,100	8706	522360	722,745	537,800	524,043	-13,757	-6,399
149,100	8946	536760	732,639	537,800	523,850	-13,950	-6,488
153,100	9186	551160	742,402	537,800	523,789	-14,011	-6,517
181,000	10860	651600	807,217	537,800	523,665	-14,135	-6,574
192,100	11526	691560	831,601	537,800	523,855	-13,945	-6,486
194,100	11646	698760	835,919	537,800	523,686	-14,114	-6,565
196,100	11766	705960	840,214	537,800	523,562	-14,238	-6,622
198,100	11886	713160	844,488	537,800	523,546	-14,254	-6,630
200,100	12006	720360	848,740	537,800	523,393	-14,407	-6,701
201,100	12066	723960	850,858	537,800	523,509	-14,291	-6,647
216,000	12960	777600	881,816	537,800	523,922	-13,878	-6,455
218,000	13080	784800	885,889	537,800	523,751	-14,049	-6,534
220,000	13200	792000	889,944	537,800	523,830	-13,970	-6,498
222,000	13320	799200	893,980	537,800	523,597	-14,203	-6,606
224,000	13440	806400	897,998	537,800	523,857	-13,943	-6,485
240,100	14406	864360	929,710	537,800	523,907	-13,893	-6,462
242,100	14526	871560	933,574	537,800	523,681	-14,119	-6,567
244,100	14646	878760	937,422	537,800	523,677	-14,123	-6,569
246,100	14766	885960	941,254	537,800	523,696	-14,104	-6,560
248,100	14886	893160	945,071	537,800	523,631	-14,169	-6,590
						S [m²]	0,002150
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	-0,308850

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A5							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	501,276	501,276	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	501,276	501,451	0,175	0,088
0,050	3	180	13,416	501,276	501,224	-0,052	-0,026
0,083	5	300	17,321	501,276	501,111	-0,165	-0,083
0,167	10	600	24,495	501,276	500,661	-0,615	-0,309
0,250	15	900	30,000	501,276	500,213	-1,063	-0,534
0,500	30	1800	42,426	501,276	498,907	-2,369	-1,189
1,000	60	3600	60,000	501,276	497,330	-3,946	-1,981
2,000	120	7200	84,853	501,276	495,576	-5,700	-2,861
3,000	180	10800	103,923	501,276	494,763	-6,513	-3,270
4,000	240	14400	120,000	501,276	493,884	-7,392	-3,711
5,000	300	18000	134,164	501,276	493,141	-8,135	-4,084
6,000	360	21600	146,969	501,276	492,723	-8,553	-4,294
7,000	420	25200	158,745	501,276	492,203	-9,073	-4,555
8,000	480	28800	169,706	501,276	491,716	-9,560	-4,799
9,000	540	32400	180,000	501,276	491,283	-9,993	-5,017
10,000	600	36000	189,737	501,276	491,140	-10,136	-5,088
24,100	1446	86760	294,551	501,276	489,360	-11,916	-5,982
25,100	1506	90360	300,599	501,276	489,325	-11,951	-5,999
26,100	1566	93960	306,529	501,276	488,941	-12,335	-6,192
27,100	1626	97560	312,346	501,276	488,767	-12,509	-6,280

28,100	1686	101160	318,057	501,276	488,772	-12,504	-6,277
29,100	1746	104760	323,666	501,276	488,632	-12,644	-6,347
30,100	1806	108360	329,181	501,276	488,682	-12,594	-6,322
31,100	1866	111960	334,604	501,276	488,441	-12,835	-6,443
32,100	1926	115560	339,941	501,276	488,486	-12,790	-6,421
33,100	1986	119160	345,196	501,276	488,180	-13,096	-6,574
48,000	2880	172800	415,692	501,276	487,430	-13,846	-6,951
49,000	2940	176400	420,000	501,276	487,618	-13,658	-6,856
50,000	3000	180000	424,264	501,276	487,403	-13,873	-6,964
51,000	3060	183600	428,486	501,276	487,410	-13,866	-6,961
52,000	3120	187200	432,666	501,276	487,282	-13,994	-7,025
53,000	3180	190800	436,807	501,276	487,239	-14,037	-7,047
54,000	3240	194400	440,908	501,276	487,224	-14,052	-7,054
55,000	3300	198000	444,972	501,276	487,097	-14,179	-7,118
56,000	3360	201600	448,999	501,276	487,086	-14,190	-7,123
57,000	3420	205200	452,990	501,276	487,002	-14,274	-7,166
74,100	4446	266760	516,488	501,276	486,706	-14,570	-7,314
75,100	4506	270360	519,962	501,276	486,531	-14,745	-7,402
76,100	4566	273960	523,412	501,276	486,444	-14,832	-7,446
77,100	4626	277560	526,840	501,276	486,415	-14,861	-7,460
78,100	4686	281160	530,245	501,276	486,348	-14,928	-7,494
79,100	4746	284760	533,629	501,276	486,287	-14,989	-7,525
80,100	4806	288360	536,992	501,276	486,276	-15,000	-7,530
81,100	4866	291960	540,333	501,276	486,253	-15,023	-7,542
82,100	4926	295560	543,654	501,276	486,252	-15,024	-7,542
103,000	6180	370800	608,933	501,276	485,727	-15,549	-7,806
145,100	8706	522360	722,745	501,276	484,605	-16,671	-8,369
149,100	8946	536760	732,639	501,276	484,328	-16,948	-8,508
153,100	9186	551160	742,402	501,276	484,030	-17,246	-8,658
181,000	10860	651600	807,217	501,276	484,222	-17,054	-8,561
192,100	11526	691560	831,601	501,276	484,189	-17,087	-8,578
194,100	11646	698760	835,919	501,276	484,123	-17,153	-8,611
196,100	11766	705960	840,214	501,276	483,905	-17,371	-8,720
198,100	11886	713160	844,488	501,276	484,099	-17,177	-8,623
200,100	12006	720360	848,740	501,276	483,809	-17,467	-8,769
201,100	12066	723960	850,858	501,276	483,860	-17,416	-8,743
216,000	12960	777600	881,816	501,276	484,151	-17,125	-8,597
218,000	13080	784800	885,889	501,276	484,128	-17,148	-8,608
220,000	13200	792000	889,944	501,276	484,124	-17,152	-8,610
222,000	13320	799200	893,980	501,276	483,985	-17,291	-8,680
224,000	13440	806400	897,998	501,276	483,928	-17,348	-8,709
240,100	14406	864360	929,710	501,276	483,901	-17,375	-8,722
242,100	14526	871560	933,574	501,276	483,890	-17,386	-8,728
244,100	14646	878760	937,422	501,276	483,860	-17,416	-8,743
246,100	14766	885960	941,254	501,276	483,732	-17,544	-8,807
248,100	14886	893160	945,071	501,276	483,722	-17,554	-8,812
						S [m²]	0,001992
						A [kg/(m².s ^½)]	-0,420800

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A6							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	559,647	559,647	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	559,647	560,100	0,453	0,242
0,050	3	180	13,416	559,647	559,948	0,301	0,161
0,083	5	300	17,321	559,647	559,846	0,199	0,106
0,167	10	600	24,495	559,647	559,705	0,058	0,031
0,250	15	900	30,000	559,647	559,440	-0,207	-0,111
0,500	30	1800	42,426	559,647	558,711	-0,936	-0,501
1,000	60	3600	60,000	559,647	557,697	-1,950	-1,043
2,000	120	7200	84,853	559,647	556,007	-3,640	-1,947
3,000	180	10800	103,923	559,647	555,001	-4,646	-2,484
4,000	240	14400	120,000	559,647	554,374	-5,273	-2,820
5,000	300	18000	134,164	559,647	553,880	-5,767	-3,084
6,000	360	21600	146,969	559,647	553,485	-6,162	-3,295
7,000	420	25200	158,745	559,647	553,097	-6,550	-3,503
8,000	480	28800	169,706	559,647	552,821	-6,826	-3,650
9,000	540	32400	180,000	559,647	552,342	-7,305	-3,906
10,000	600	36000	189,737	559,647	552,232	-7,415	-3,965
24,100	1446	86760	294,551	559,647	550,458	-9,189	-4,914
25,100	1506	90360	300,599	559,647	550,377	-9,270	-4,957
26,100	1566	93960	306,529	559,647	550,191	-9,456	-5,057
27,100	1626	97560	312,346	559,647	550,124	-9,523	-5,093
28,100	1686	101160	318,057	559,647	549,958	-9,689	-5,181
29,100	1746	104760	323,666	559,647	549,876	-9,771	-5,225
30,100	1806	108360	329,181	559,647	549,732	-9,915	-5,302
31,100	1866	111960	334,604	559,647	549,568	-10,079	-5,390
32,100	1926	115560	339,941	559,647	549,456	-10,191	-5,450
33,100	1986	119160	345,196	559,647	549,360	-10,287	-5,501
48,000	2880	172800	415,692	559,647	548,208	-11,439	-6,117
49,000	2940	176400	420,000	559,647	548,112	-11,535	-6,168
50,000	3000	180000	424,264	559,647	548,139	-11,508	-6,154
51,000	3060	183600	428,486	559,647	548,050	-11,597	-6,202
52,000	3120	187200	432,666	559,647	547,893	-11,754	-6,286
53,000	3180	190800	436,807	559,647	547,822	-11,825	-6,324
54,000	3240	194400	440,908	559,647	547,697	-11,950	-6,390
55,000	3300	198000	444,972	559,647	547,709	-11,938	-6,384
56,000	3360	201600	448,999	559,647	547,647	-12,000	-6,417
57,000	3420	205200	452,990	559,647	547,577	-12,070	-6,455
74,100	4446	266760	516,488	559,647	546,723	-12,924	-6,911
75,100	4506	270360	519,962	559,647	546,857	-12,790	-6,840
76,100	4566	273960	523,412	559,647	546,664	-12,983	-6,943
77,100	4626	277560	526,840	559,647	546,617	-13,030	-6,968
78,100	4686	281160	530,245	559,647	546,519	-13,128	-7,020
79,100	4746	284760	533,629	559,647	546,409	-13,238	-7,079
80,100	4806	288360	536,992	559,647	546,500	-13,147	-7,030
81,100	4866	291960	540,333	559,647	546,295	-13,352	-7,140
82,100	4926	295560	543,654	559,647	546,398	-13,249	-7,085

103,000	6180	370800	608,933	559,647	545,873	-13,774	-7,366
145,100	8706	522360	722,745	559,647	545,197	-14,450	-7,727
149,100	8946	536760	732,639	559,647	545,063	-14,584	-7,799
153,100	9186	551160	742,402	559,647	545,024	-14,623	-7,820
181,000	10860	651600	807,217	559,647	545,125	-14,522	-7,766
192,100	11526	691560	831,601	559,647	545,119	-14,528	-7,769
194,100	11646	698760	835,919	559,647	545,104	-14,543	-7,777
196,100	11766	705960	840,214	559,647	545,052	-14,595	-7,805
198,100	11886	713160	844,488	559,647	545,015	-14,632	-7,825
200,100	12006	720360	848,740	559,647	544,997	-14,650	-7,834
201,100	12066	723960	850,858	559,647	544,898	-14,749	-7,887
216,000	12960	777600	881,816	559,647	545,297	-14,350	-7,674
218,000	13080	784800	885,889	559,647	545,329	-14,318	-7,657
220,000	13200	792000	889,944	559,647	545,222	-14,425	-7,714
222,000	13320	799200	893,980	559,647	545,075	-14,572	-7,793
224,000	13440	806400	897,998	559,647	544,956	-14,691	-7,856
240,100	14406	864360	929,710	559,647	545,113	-14,534	-7,772
242,100	14526	871560	933,574	559,647	545,028	-14,619	-7,818
244,100	14646	878760	937,422	559,647	545,027	-14,620	-7,818
246,100	14766	885960	941,254	559,647	544,954	-14,693	-7,857
248,100	14886	893160	945,071	559,647	544,864	-14,783	-7,905
						S [m²]	0,001870
						A [kg/(m².s ^½)]	-0,285300

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A7							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	465,288	465,288	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	465,288	465,622	0,334	0,152
0,050	3	180	13,416	465,288	465,615	0,327	0,149
0,083	5	300	17,321	465,288	465,699	0,411	0,187
0,167	10	600	24,495	465,288	465,690	0,402	0,183
0,250	15	900	30,000	465,288	465,786	0,498	0,226
0,500	30	1800	42,426	465,288	465,817	0,529	0,240
1,000	60	3600	60,000	465,288	465,796	0,508	0,231
2,000	120	7200	84,853	465,288	465,980	0,692	0,315
3,000	180	10800	103,923	465,288	466,078	0,790	0,359
4,000	240	14400	120,000	465,288	466,096	0,808	0,367
5,000	300	18000	134,164	465,288	466,079	0,791	0,360
6,000	360	21600	146,969	465,288	466,060	0,772	0,351
7,000	420	25200	158,745	465,288	466,091	0,803	0,365
8,000	480	28800	169,706	465,288	466,097	0,809	0,368
9,000	540	32400	180,000	465,288	466,112	0,824	0,375
20,983	1259	75540	274,845	465,288	466,227	0,939	0,427
21,983	1319	79140	281,318	465,288	466,133	0,845	0,384
22,983	1379	82740	287,646	465,288	466,395	1,107	0,503
23,983	1439	86340	293,837	465,288	466,313	1,025	0,466
24,983	1499	89940	299,900	465,288	466,286	0,998	0,454

25,983	1559	93540	305,843	465,288	466,355	1,067	0,485
26,983	1619	97140	311,673	465,288	466,360	1,072	0,487
27,983	1679	100740	317,396	465,288	466,269	0,981	0,446
28,983	1739	104340	323,017	465,288	466,298	1,010	0,459
29,983	1799	107940	328,542	465,288	466,296	1,008	0,458
30,983	1859	111540	333,976	465,288	466,379	1,091	0,496
31,983	1919	115140	339,323	465,288	466,353	1,065	0,484
32,983	1979	118740	344,587	465,288	466,329	1,041	0,473
46,883	2813	168780	410,828	465,288	466,453	1,165	0,530
47,883	2873	172380	415,187	465,288	466,406	1,118	0,508
48,883	2933	175980	419,500	465,288	466,479	1,191	0,541
49,883	2993	179580	423,769	465,288	466,441	1,153	0,524
50,883	3053	183180	427,995	465,288	466,328	1,040	0,473
51,883	3113	186780	432,181	465,288	466,492	1,204	0,547
52,883	3173	190380	436,326	465,288	466,398	1,110	0,505
53,883	3233	193980	440,432	465,288	466,374	1,086	0,494
54,883	3293	197580	444,500	465,288	466,354	1,066	0,485
55,883	3353	201180	448,531	465,288	466,291	1,003	0,456
70,983	4259	255540	505,510	465,288	466,471	1,183	0,538
71,983	4319	259140	509,058	465,288	466,478	1,190	0,541
72,983	4379	262740	512,582	465,288	466,478	1,190	0,541
73,983	4439	266340	516,081	465,288	466,642	1,354	0,615
74,983	4499	269940	519,558	465,288	466,553	1,265	0,575
75,983	4559	273540	523,011	465,288	466,557	1,269	0,577
76,983	4619	277140	526,441	465,288	466,544	1,256	0,571
77,983	4679	280740	529,849	465,288	466,518	1,230	0,559
78,983	4739	284340	533,235	465,288	466,579	1,291	0,587
79,983	4799	287940	536,600	465,288	466,582	1,294	0,588
96,883	5813	348780	590,576	465,288	466,695	1,407	0,640
97,883	5873	352380	593,616	465,288	466,567	1,279	0,581
98,883	5933	355980	596,641	465,288	466,539	1,251	0,569
99,883	5993	359580	599,650	465,288	466,670	1,382	0,628
100,883	6053	363180	602,644	465,288	466,556	1,268	0,576
101,883	6113	366780	605,624	465,288	466,621	1,333	0,606
102,883	6173	370380	608,589	465,288	466,591	1,303	0,592
103,883	6233	373980	611,539	465,288	466,608	1,320	0,600
104,883	6293	377580	614,475	465,288	466,607	1,319	0,600
125,983	7559	453540	673,454	465,288	466,798	1,510	0,686
167,883	10073	604380	777,419	465,288	466,933	1,645	0,748
171,883	10313	618780	786,626	465,288	467,019	1,731	0,787
175,883	10553	633180	795,726	465,288	467,023	1,735	0,789
203,983	12239	734340	856,936	465,288	467,393	2,105	0,957
214,883	12893	773580	879,534	465,288	467,278	1,990	0,905
216,883	13013	780780	883,618	465,288	467,154	1,866	0,848
218,883	13133	787980	887,682	465,288	467,286	1,998	0,908
220,883	13253	795180	891,729	465,288	467,236	1,948	0,885
222,883	13373	802380	895,757	465,288	467,373	2,085	0,948
223,883	13433	805980	897,764	465,288	467,429	2,141	0,973
238,983	14339	860340	927,545	465,288	467,678	2,390	1,086
240,983	14459	867540	931,418	465,288	467,636	2,348	1,067

242,983	14579	874740	935,275	465,288	467,487	2,199	1,000
244,983	14699	881940	939,117	465,288	467,553	2,265	1,030
246,983	14819	889140	942,942	465,288	467,683	2,395	1,089
262,883	15773	946380	972,821	465,288	467,782	2,494	1,134
264,883	15893	953580	976,514	465,288	467,756	2,468	1,122
266,883	16013	960780	980,194	465,288	467,818	2,530	1,150
268,883	16133	967980	983,860	465,288	467,603	2,315	1,052
270,883	16253	975180	987,512	465,288	467,604	2,316	1,053
						S [m²]	0,002200
						A [kg/(m².s ^½)]	0,019800

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A8							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	477,399	477,399	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	477,399	477,750	0,351	0,156
0,050	3	180	13,416	477,399	477,851	0,452	0,201
0,083	5	300	17,321	477,399	477,900	0,501	0,223
0,167	10	600	24,495	477,399	477,863	0,464	0,206
0,250	15	900	30,000	477,399	477,987	0,588	0,261
0,500	30	1800	42,426	477,399	477,945	0,546	0,243
1,000	60	3600	60,000	477,399	477,994	0,595	0,264
2,000	120	7200	84,853	477,399	478,187	0,788	0,350
3,000	180	10800	103,923	477,399	478,243	0,844	0,375
4,000	240	14400	120,000	477,399	478,236	0,837	0,372
5,000	300	18000	134,164	477,399	478,257	0,858	0,381
6,000	360	21600	146,969	477,399	478,225	0,826	0,367
7,000	420	25200	158,745	477,399	478,255	0,856	0,380
8,000	480	28800	169,706	477,399	478,285	0,886	0,394
9,000	540	32400	180,000	477,399	478,394	0,995	0,442
20,983	1259	75540	274,845	477,399	478,499	1,100	0,489
21,983	1319	79140	281,318	477,399	478,492	1,093	0,486
22,983	1379	82740	287,646	477,399	478,514	1,115	0,496
23,983	1439	86340	293,837	477,399	478,452	1,053	0,468
24,983	1499	89940	299,900	477,399	478,418	1,019	0,453
25,983	1559	93540	305,843	477,399	478,434	1,035	0,460
26,983	1619	97140	311,673	477,399	478,518	1,119	0,497
27,983	1679	100740	317,396	477,399	478,441	1,042	0,463
28,983	1739	104340	323,017	477,399	478,480	1,081	0,480
29,983	1799	107940	328,542	477,399	478,473	1,074	0,477
30,983	1859	111540	333,976	477,399	478,401	1,002	0,445
31,983	1919	115140	339,323	477,399	478,519	1,120	0,498
32,983	1979	118740	344,587	477,399	478,475	1,076	0,478
46,883	2813	168780	410,828	477,399	478,620	1,221	0,543
47,883	2873	172380	415,187	477,399	478,542	1,143	0,508
48,883	2933	175980	419,500	477,399	478,626	1,227	0,545
49,883	2993	179580	423,769	477,399	478,542	1,143	0,508
50,883	3053	183180	427,995	477,399	478,525	1,126	0,500

51,883	3113	186780	432,181	477,399	478,581	1,182	0,525
52,883	3173	190380	436,326	477,399	478,529	1,130	0,502
53,883	3233	193980	440,432	477,399	478,557	1,158	0,515
54,883	3293	197580	444,500	477,399	478,506	1,107	0,492
55,883	3353	201180	448,531	477,399	478,502	1,103	0,490
70,983	4259	255540	505,510	477,399	478,593	1,194	0,531
71,983	4319	259140	509,058	477,399	478,609	1,210	0,538
72,983	4379	262740	512,582	477,399	478,624	1,225	0,544
73,983	4439	266340	516,081	477,399	478,628	1,229	0,546
74,983	4499	269940	519,558	477,399	478,793	1,394	0,620
75,983	4559	273540	523,011	477,399	478,615	1,216	0,540
76,983	4619	277140	526,441	477,399	478,648	1,249	0,555
77,983	4679	280740	529,849	477,399	478,611	1,212	0,539
78,983	4739	284340	533,235	477,399	478,613	1,214	0,540
79,983	4799	287940	536,600	477,399	478,573	1,174	0,522
96,883	5813	348780	590,576	477,399	478,855	1,456	0,647
97,883	5873	352380	593,616	477,399	478,773	1,374	0,611
98,883	5933	355980	596,641	477,399	478,803	1,404	0,624
99,883	5993	359580	599,650	477,399	478,716	1,317	0,585
100,883	6053	363180	602,644	477,399	478,753	1,354	0,602
101,883	6113	366780	605,624	477,399	478,707	1,308	0,581
102,883	6173	370380	608,589	477,399	478,762	1,363	0,606
103,883	6233	373980	611,539	477,399	478,697	1,298	0,577
104,883	6293	377580	614,475	477,399	478,891	1,492	0,663
125,983	7559	453540	673,454	477,399	478,902	1,503	0,668
167,883	10073	604380	777,419	477,399	479,060	1,661	0,738
171,883	10313	618780	786,626	477,399	479,100	1,701	0,756
175,883	10553	633180	795,726	477,399	479,399	2,000	0,889
203,983	12239	734340	856,936	477,399	479,542	2,143	0,952
214,883	12893	773580	879,534	477,399	479,711	2,312	1,028
216,883	13013	780780	883,618	477,399	479,619	2,220	0,987
218,883	13133	787980	887,682	477,399	479,712	2,313	1,028
220,883	13253	795180	891,729	477,399	479,701	2,302	1,023
222,883	13373	802380	895,757	477,399	479,714	2,315	1,029
223,883	13433	805980	897,764	477,399	479,557	2,158	0,959
238,983	14339	860340	927,545	477,399	479,937	2,538	1,128
240,983	14459	867540	931,418	477,399	479,814	2,415	1,073
242,983	14579	874740	935,275	477,399	479,718	2,319	1,031
244,983	14699	881940	939,117	477,399	479,886	2,487	1,105
246,983	14819	889140	942,942	477,399	479,947	2,548	1,132
262,883	15773	946380	972,821	477,399	480,097	2,698	1,199
264,883	15893	953580	976,514	477,399	479,979	2,580	1,147
266,883	16013	960780	980,194	477,399	480,035	2,636	1,172
268,883	16133	967980	983,860	477,399	480,032	2,633	1,170
270,883	16253	975180	987,512	477,399	479,970	2,571	1,143
						S [m²]	0,002250
						A [kg/(m².s ^½)]	0,022750

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

A9							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	487,297	487,297	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	487,297	487,544	0,247	0,104
0,050	3	180	13,416	487,297	487,593	0,296	0,125
0,083	5	300	17,321	487,297	487,586	0,289	0,122
0,167	10	600	24,495	487,297	487,684	0,387	0,163
0,250	15	900	30,000	487,297	487,692	0,395	0,166
0,500	30	1800	42,426	487,297	487,702	0,405	0,170
1,000	60	3600	60,000	487,297	487,777	0,480	0,202
2,000	120	7200	84,853	487,297	487,895	0,598	0,252
3,000	180	10800	103,923	487,297	487,893	0,596	0,251
4,000	240	14400	120,000	487,297	487,895	0,598	0,252
5,000	300	18000	134,164	487,297	487,954	0,657	0,277
6,000	360	21600	146,969	487,297	487,834	0,537	0,226
7,000	420	25200	158,745	487,297	487,892	0,595	0,250
8,000	480	28800	169,706	487,297	487,857	0,560	0,236
9,000	540	32400	180,000	487,297	487,919	0,622	0,262
20,983	1259	75540	274,845	487,297	488,115	0,818	0,344
21,983	1319	79140	281,318	487,297	488,065	0,768	0,323
22,983	1379	82740	287,646	487,297	488,087	0,790	0,332
23,983	1439	86340	293,837	487,297	488,051	0,754	0,317
24,983	1499	89940	299,900	487,297	488,003	0,706	0,297
25,983	1559	93540	305,843	487,297	488,071	0,774	0,326
26,983	1619	97140	311,673	487,297	488,041	0,744	0,313
27,983	1679	100740	317,396	487,297	488,151	0,854	0,359
28,983	1739	104340	323,017	487,297	488,143	0,846	0,356
29,983	1799	107940	328,542	487,297	488,180	0,883	0,372
30,983	1859	111540	333,976	487,297	488,030	0,733	0,309
31,983	1919	115140	339,323	487,297	488,118	0,821	0,346
32,983	1979	118740	344,587	487,297	488,128	0,831	0,350
46,883	2813	168780	410,828	487,297	488,129	0,832	0,350
47,883	2873	172380	415,187	487,297	488,244	0,947	0,399
48,883	2933	175980	419,500	487,297	488,301	1,004	0,423
49,883	2993	179580	423,769	487,297	488,159	0,862	0,363
50,883	3053	183180	427,995	487,297	488,272	0,975	0,410
51,883	3113	186780	432,181	487,297	488,204	0,907	0,382
52,883	3173	190380	436,326	487,297	488,175	0,878	0,370
53,883	3233	193980	440,432	487,297	488,159	0,862	0,363
54,883	3293	197580	444,500	487,297	488,191	0,894	0,376
55,883	3353	201180	448,531	487,297	488,138	0,841	0,354
70,983	4259	255540	505,510	487,297	488,425	1,128	0,475
71,983	4319	259140	509,058	487,297	488,412	1,115	0,469
72,983	4379	262740	512,582	487,297	488,339	1,042	0,439
73,983	4439	266340	516,081	487,297	488,358	1,061	0,447
74,983	4499	269940	519,558	487,297	488,396	1,099	0,463
75,983	4559	273540	523,011	487,297	488,410	1,113	0,468
76,983	4619	277140	526,441	487,297	488,385	1,088	0,458

77,983	4679	280740	529,849	487,297	488,304	1,007	0,424
78,983	4739	284340	533,235	487,297	488,333	1,036	0,436
79,983	4799	287940	536,600	487,297	488,379	1,082	0,455
96,883	5813	348780	590,576	487,297	488,450	1,153	0,485
97,883	5873	352380	593,616	487,297	488,402	1,105	0,465
98,883	5933	355980	596,641	487,297	488,428	1,131	0,476
99,883	5993	359580	599,650	487,297	488,320	1,023	0,431
100,883	6053	363180	602,644	487,297	488,445	1,148	0,483
101,883	6113	366780	605,624	487,297	488,420	1,123	0,473
102,883	6173	370380	608,589	487,297	488,449	1,152	0,485
103,883	6233	373980	611,539	487,297	488,487	1,190	0,501
104,883	6293	377580	614,475	487,297	488,472	1,175	0,495
125,983	7559	453540	673,454	487,297	488,633	1,336	0,562
167,883	10073	604380	777,419	487,297	488,984	1,687	0,710
171,883	10313	618780	786,626	487,297	488,929	1,632	0,687
175,883	10553	633180	795,726	487,297	489,034	1,737	0,731
203,983	12239	734340	856,936	487,297	489,348	2,051	0,863
214,883	12893	773580	879,534	487,297	489,382	2,085	0,878
216,883	13013	780780	883,618	487,297	489,424	2,127	0,895
218,883	13133	787980	887,682	487,297	489,450	2,153	0,906
220,883	13253	795180	891,729	487,297	489,420	2,123	0,894
222,883	13373	802380	895,757	487,297	489,424	2,127	0,895
223,883	13433	805980	897,764	487,297	489,376	2,079	0,875
238,983	14339	860340	927,545	487,297	489,683	2,386	1,004
240,983	14459	867540	931,418	487,297	489,732	2,435	1,025
242,983	14579	874740	935,275	487,297	489,606	2,309	0,972
244,983	14699	881940	939,117	487,297	489,592	2,295	0,966
246,983	14819	889140	942,942	487,297	489,655	2,358	0,992
262,883	15773	946380	972,821	487,297	489,730	2,433	1,024
264,883	15893	953580	976,514	487,297	489,534	2,237	0,941
266,883	16013	960780	980,194	487,297	489,723	2,426	1,021
268,883	16133	967980	983,860	487,297	489,743	2,446	1,029
270,883	16253	975180	987,512	487,297	489,669	2,372	0,998
						S [m²]	0,002376
						A [kg/(m².s ^½)]	0,015200

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T1							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	450,707	450,707	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	450,707	466,610	15,903	3,442
0,050	3	180	13,416	450,707	467,210	16,503	3,572
0,083	5	300	17,321	450,707	465,793	15,086	3,265
0,167	10	600	24,495	450,707	468,028	17,321	3,749
0,250	15	900	30,000	450,707	468,386	17,679	3,827
0,500	30	1800	42,426	450,707	469,033	18,326	3,967
1,000	60	3600	60,000	450,707	469,672	18,965	4,105
2,000	120	7200	84,853	450,707	470,105	19,398	4,199

3,000	180	10800	103,923	450,707	470,570	19,863	4,299
4,000	240	14400	120,000	450,707	470,873	20,166	4,365
5,000	300	18000	134,164	450,707	471,016	20,309	4,396
6,000	360	21600	146,969	450,707	471,454	20,747	4,491
20,250	1215	72900	270,000	450,707	472,349	21,642	4,684
21,250	1275	76500	276,586	450,707	472,733	22,026	4,768
22,250	1335	80100	283,019	450,707	472,547	21,840	4,727
23,250	1395	83700	289,310	450,707	472,203	21,496	4,653
24,250	1455	87300	295,466	450,707	472,308	21,601	4,676
25,250	1515	90900	301,496	450,707	472,505	21,798	4,718
26,250	1575	94500	307,409	450,707	472,055	21,348	4,621
27,250	1635	98100	313,209	450,707	472,630	21,923	4,745
28,250	1695	101700	318,904	450,707	472,744	22,037	4,770
29,250	1755	105300	324,500	450,707	472,636	21,929	4,747
44,400	2664	159840	399,800	450,707	472,982	22,275	4,821
45,400	2724	163440	404,277	450,707	473,340	22,633	4,899
46,400	2784	167040	408,705	450,707	473,425	22,718	4,917
47,400	2844	170640	413,086	450,707	473,342	22,635	4,899
48,400	2904	174240	417,421	450,707	473,626	22,919	4,961
49,400	2964	177840	421,711	450,707	473,264	22,557	4,882
50,400	3024	181440	425,958	450,707	473,466	22,759	4,926
51,400	3084	185040	430,163	450,707	473,260	22,553	4,882
52,400	3144	188640	434,327	450,707	473,495	22,788	4,932
68,250	4095	245700	495,681	450,707	473,493	22,786	4,932
69,250	4155	249300	499,300	450,707	473,670	22,963	4,970
70,250	4215	252900	502,892	450,707	473,954	23,247	5,032
71,250	4275	256500	506,458	450,707	473,767	23,060	4,991
72,250	4335	260100	510,000	450,707	473,826	23,119	5,004
73,250	4395	263700	513,517	450,707	473,795	23,088	4,997
74,250	4455	267300	517,011	450,707	473,809	23,102	5,000
75,250	4515	270900	520,481	450,707	473,667	22,960	4,970
76,250	4575	274500	523,927	450,707	473,518	22,811	4,937
77,250	4635	278100	527,352	450,707	473,975	23,268	5,036
92,400	5544	332640	576,750	450,707	473,644	22,937	4,965
93,400	5604	336240	579,862	450,707	473,799	23,092	4,998
94,400	5664	339840	582,958	450,707	473,318	22,611	4,894
95,400	5724	343440	586,038	450,707	473,501	22,794	4,934
96,400	5784	347040	589,101	450,707	473,367	22,660	4,905
97,400	5844	350640	592,149	450,707	473,353	22,646	4,902
98,400	5904	354240	595,181	450,707	473,991	23,284	5,040
99,400	5964	357840	598,197	450,707	473,694	22,987	4,976
100,400	6024	361440	601,199	450,707	473,946	23,239	5,030
101,400	6084	365040	604,185	450,707	474,048	23,341	5,052
161,250	9675	580500	761,906	450,707	473,290	22,583	4,888
163,250	9795	587700	766,616	450,707	474,002	23,295	5,042
165,250	9915	594900	771,298	450,707	472,603	21,896	4,739
167,250	10035	602100	775,951	450,707	472,202	21,495	4,653
169,250	10155	609300	780,577	450,707	471,635	20,928	4,530
171,250	10275	616500	785,175	450,707	471,439	20,732	4,487
173,250	10395	623700	789,747	450,707	471,848	21,141	4,576

185,350	11121	667260	816,860	450,707	471,820	21,113	4,570
187,350	11241	674460	821,255	450,707	472,546	21,839	4,727
189,350	11361	681660	825,627	450,707	473,135	22,428	4,855
191,350	11481	688860	829,976	450,707	473,078	22,371	4,842
193,350	11601	696060	834,302	450,707	473,504	22,797	4,934
195,350	11721	703260	838,606	450,707	475,502	24,795	5,367
197,350	11841	710460	842,888	450,707	473,978	23,271	5,037
211,250	12675	760500	872,067	450,707	474,001	23,294	5,042
213,250	12795	767700	876,185	450,707	473,225	22,518	4,874
215,250	12915	774900	880,284	450,707	474,526	23,819	5,156
217,250	13035	782100	884,364	450,707	473,912	23,205	5,023
219,250	13155	789300	888,426	450,707	473,672	22,965	4,971
220,250	13215	792900	890,449	450,707	471,633	20,926	4,529
235,350	14121	847260	920,467	450,707	472,131	21,424	4,637
237,350	14241	854460	924,370	450,707	471,710	21,003	4,546
239,350	14361	861660	928,256	450,707	474,868	24,161	5,230
241,350	14481	868860	932,127	450,707	471,806	21,099	4,567
243,350	14601	876060	935,981	450,707	471,932	21,225	4,594
244,350	14661	879660	937,902	450,707	472,717	22,010	4,764
261,250	15675	940500	969,794	450,707	473,112	22,405	4,850
263,250	15795	947700	973,499	450,707	471,355	20,648	4,469
265,250	15915	954900	977,190	450,707	471,721	21,014	4,548
267,250	16035	962100	980,867	450,707	471,988	21,281	4,606
268,250	16095	965700	982,700	450,707	472,509	21,802	4,719
						S [m²]	0,004620
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,186050

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T2							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	334,117	334,117	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	334,117	344,465	10,348	3,008
0,050	3	180	13,416	334,117	344,991	10,874	3,161
0,083	5	300	17,321	334,117	345,586	11,469	3,334
0,167	10	600	24,495	334,117	346,513	12,396	3,603
0,250	15	900	30,000	334,117	346,733	12,616	3,667
0,500	30	1800	42,426	334,117	347,419	13,302	3,867
1,000	60	3600	60,000	334,117	348,143	14,026	4,077
2,000	120	7200	84,853	334,117	348,773	14,656	4,260
3,000	180	10800	103,923	334,117	349,244	15,127	4,397
4,000	240	14400	120,000	334,117	349,534	15,417	4,482
5,000	300	18000	134,164	334,117	349,799	15,682	4,559
6,000	360	21600	146,969	334,117	350,005	15,888	4,619
20,250	1215	72900	270,000	334,117	351,925	17,808	5,177
21,250	1275	76500	276,586	334,117	352,118	18,001	5,233
22,250	1335	80100	283,019	334,117	352,072	17,955	5,219
23,250	1395	83700	289,310	334,117	351,881	17,764	5,164
24,250	1455	87300	295,466	334,117	352,194	18,077	5,255

25,250	1515	90900	301,496	334,117	352,204	18,087	5,258
26,250	1575	94500	307,409	334,117	352,318	18,201	5,291
27,250	1635	98100	313,209	334,117	352,324	18,207	5,293
28,250	1695	101700	318,904	334,117	352,456	18,339	5,331
29,250	1755	105300	324,500	334,117	352,507	18,390	5,346
44,400	2664	159840	399,800	334,117	352,737	18,620	5,413
45,400	2724	163440	404,277	334,117	352,964	18,847	5,479
46,400	2784	167040	408,705	334,117	353,035	18,918	5,499
47,400	2844	170640	413,086	334,117	353,216	19,099	5,552
48,400	2904	174240	417,421	334,117	353,075	18,958	5,511
49,400	2964	177840	421,711	334,117	353,006	18,889	5,491
50,400	3024	181440	425,958	334,117	353,120	19,003	5,524
51,400	3084	185040	430,163	334,117	353,083	18,966	5,513
52,400	3144	188640	434,327	334,117	353,020	18,903	5,495
68,250	4095	245700	495,681	334,117	353,059	18,942	5,506
69,250	4155	249300	499,300	334,117	353,133	19,016	5,528
70,250	4215	252900	502,892	334,117	353,027	18,910	5,497
71,250	4275	256500	506,458	334,117	353,200	19,083	5,547
72,250	4335	260100	510,000	334,117	353,336	19,219	5,587
73,250	4395	263700	513,517	334,117	353,515	19,398	5,639
74,250	4455	267300	517,011	334,117	353,233	19,116	5,557
75,250	4515	270900	520,481	334,117	353,367	19,250	5,596
76,250	4575	274500	523,927	334,117	353,365	19,248	5,595
77,250	4635	278100	527,352	334,117	353,203	19,086	5,548
92,400	5544	332640	576,750	334,117	352,285	18,168	5,281
93,400	5604	336240	579,862	334,117	352,120	18,003	5,233
94,400	5664	339840	582,958	334,117	352,064	17,947	5,217
95,400	5724	343440	586,038	334,117	352,428	18,311	5,323
96,400	5784	347040	589,101	334,117	352,300	18,183	5,286
97,400	5844	350640	592,149	334,117	352,319	18,202	5,291
98,400	5904	354240	595,181	334,117	352,403	18,286	5,316
99,400	5964	357840	598,197	334,117	352,355	18,238	5,302
100,400	6024	361440	601,199	334,117	352,432	18,315	5,324
101,400	6084	365040	604,185	334,117	352,380	18,263	5,309
161,250	9675	580500	761,906	334,117	351,540	17,423	5,065
163,250	9795	587700	766,616	334,117	351,673	17,556	5,103
165,250	9915	594900	771,298	334,117	351,974	17,857	5,191
167,250	10035	602100	775,951	334,117	352,116	17,999	5,232
169,250	10155	609300	780,577	334,117	352,203	18,086	5,258
171,250	10275	616500	785,175	334,117	352,243	18,126	5,269
173,250	10395	623700	789,747	334,117	352,208	18,091	5,259
185,350	11121	667260	816,860	334,117	351,860	17,743	5,158
187,350	11241	674460	821,255	334,117	352,047	17,930	5,212
189,350	11361	681660	825,627	334,117	352,313	18,196	5,290
191,350	11481	688860	829,976	334,117	352,353	18,236	5,301
193,350	11601	696060	834,302	334,117	352,225	18,108	5,264
195,350	11721	703260	838,606	334,117	352,422	18,305	5,321
197,350	11841	710460	842,888	334,117	352,422	18,305	5,321
211,250	12675	760500	872,067	334,117	352,021	17,904	5,205
213,250	12795	767700	876,185	334,117	352,114	17,997	5,232

215,250	12915	774900	880,284	334,117	352,261	18,144	5,274
217,250	13035	782100	884,364	334,117	352,482	18,365	5,339
219,250	13155	789300	888,426	334,117	352,541	18,424	5,356
220,250	13215	792900	890,449	334,117	352,172	18,055	5,249
235,350	14121	847260	920,467	334,117	351,929	17,812	5,178
237,350	14241	854460	924,370	334,117	351,094	16,977	4,935
239,350	14361	861660	928,256	334,117	351,991	17,874	5,196
241,350	14481	868860	932,127	334,117	351,476	17,359	5,046
243,350	14601	876060	935,981	334,117	351,844	17,727	5,153
244,350	14661	879660	937,902	334,117	351,723	17,606	5,118
261,250	15675	940500	969,794	334,117	351,448	17,331	5,038
263,250	15795	947700	973,499	334,117	351,652	17,535	5,097
265,250	15915	954900	977,190	334,117	350,978	16,861	4,901
267,250	16035	962100	980,867	334,117	351,319	17,202	5,001
268,250	16095	965700	982,700	334,117	351,622	17,505	5,089
						S [m ²]	0,003440
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,194500

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T3							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	467,769	467,769	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	467,769	479,023	11,254	2,428
0,050	3	180	13,416	467,769	479,330	11,561	2,494
0,083	5	300	17,321	467,769	479,130	11,361	2,451
0,167	10	600	24,495	467,769	479,580	11,811	2,548
0,250	15	900	30,000	467,769	480,304	12,535	2,704
0,500	30	1800	42,426	467,769	479,711	11,942	2,576
1,000	60	3600	60,000	467,769	481,728	13,959	3,012
2,000	120	7200	84,853	467,769	482,356	14,587	3,147
3,000	180	10800	103,923	467,769	483,030	15,261	3,293
4,000	240	14400	120,000	467,769	483,195	15,426	3,328
5,000	300	18000	134,164	467,769	483,203	15,434	3,330
6,000	360	21600	146,969	467,769	483,867	16,098	3,473
20,250	1215	72900	270,000	467,769	484,054	16,285	3,513
21,250	1275	76500	276,586	467,769	485,434	17,665	3,811
22,250	1335	80100	283,019	467,769	485,408	17,639	3,806
23,250	1395	83700	289,310	467,769	485,572	17,803	3,841
24,250	1455	87300	295,466	467,769	485,444	17,675	3,813
25,250	1515	90900	301,496	467,769	484,944	17,175	3,706
26,250	1575	94500	307,409	467,769	484,595	16,826	3,630
27,250	1635	98100	313,209	467,769	485,404	17,635	3,805
28,250	1695	101700	318,904	467,769	485,339	17,570	3,791
29,250	1755	105300	324,500	467,769	485,171	17,402	3,754
44,400	2664	159840	399,800	467,769	486,165	18,396	3,969
45,400	2724	163440	404,277	467,769	486,336	18,567	4,006
46,400	2784	167040	408,705	467,769	486,193	18,424	3,975
47,400	2844	170640	413,086	467,769	485,985	18,216	3,930

48,400	2904	174240	417,421	467,769	486,341	18,572	4,007
49,400	2964	177840	421,711	467,769	486,245	18,476	3,986
50,400	3024	181440	425,958	467,769	486,231	18,462	3,983
51,400	3084	185040	430,163	467,769	485,974	18,205	3,928
52,400	3144	188640	434,327	467,769	486,362	18,593	4,011
68,250	4095	245700	495,681	467,769	486,086	18,317	3,952
69,250	4155	249300	499,300	467,769	486,721	18,952	4,089
70,250	4215	252900	502,892	467,769	486,434	18,665	4,027
71,250	4275	256500	506,458	467,769	486,452	18,683	4,031
72,250	4335	260100	510,000	467,769	486,649	18,880	4,073
73,250	4395	263700	513,517	467,769	486,752	18,983	4,096
74,250	4455	267300	517,011	467,769	486,476	18,707	4,036
75,250	4515	270900	520,481	467,769	486,605	18,836	4,064
76,250	4575	274500	523,927	467,769	486,309	18,540	4,000
77,250	4635	278100	527,352	467,769	486,621	18,852	4,067
92,400	5544	332640	576,750	467,769	486,620	18,851	4,067
93,400	5604	336240	579,862	467,769	487,076	19,307	4,165
94,400	5664	339840	582,958	467,769	486,906	19,137	4,129
95,400	5724	343440	586,038	467,769	486,924	19,155	4,133
96,400	5784	347040	589,101	467,769	487,165	19,396	4,185
97,400	5844	350640	592,149	467,769	487,324	19,555	4,219
98,400	5904	354240	595,181	467,769	487,112	19,343	4,173
99,400	5964	357840	598,197	467,769	487,254	19,485	4,204
100,400	6024	361440	601,199	467,769	486,972	19,203	4,143
101,400	6084	365040	604,185	467,769	487,362	19,593	4,227
161,250	9675	580500	761,906	467,769	487,438	19,669	4,244
163,250	9795	587700	766,616	467,769	488,578	20,809	4,490
165,250	9915	594900	771,298	467,769	488,463	20,694	4,465
167,250	10035	602100	775,951	467,769	488,814	21,045	4,540
169,250	10155	609300	780,577	467,769	489,197	21,428	4,623
171,250	10275	616500	785,175	467,769	488,740	20,971	4,524
173,250	10395	623700	789,747	467,769	489,117	21,348	4,606
185,350	11121	667260	816,860	467,769	489,140	21,371	4,611
187,350	11241	674460	821,255	467,769	489,464	21,695	4,681
189,350	11361	681660	825,627	467,769	489,643	21,874	4,719
191,350	11481	688860	829,976	467,769	489,631	21,862	4,717
193,350	11601	696060	834,302	467,769	489,342	21,573	4,654
195,350	11721	703260	838,606	467,769	489,605	21,836	4,711
197,350	11841	710460	842,888	467,769	489,387	21,618	4,664
211,250	12675	760500	872,067	467,769	488,915	21,146	4,562
213,250	12795	767700	876,185	467,769	489,384	21,615	4,663
215,250	12915	774900	880,284	467,769	489,733	21,964	4,739
217,250	13035	782100	884,364	467,769	489,649	21,880	4,721
219,250	13155	789300	888,426	467,769	489,862	22,093	4,767
220,250	13215	792900	890,449	467,769	489,881	22,112	4,771
235,350	14121	847260	920,467	467,769	488,343	20,574	4,439
237,350	14241	854460	924,370	467,769	488,437	20,668	4,459
239,350	14361	861660	928,256	467,769	489,769	22,000	4,746
241,350	14481	868860	932,127	467,769	488,663	20,894	4,508
243,350	14601	876060	935,981	467,769	488,195	20,426	4,407

244,350	14661	879660	937,902	467,769	489,214	21,445	4,627
261,250	15675	940500	969,794	467,769	488,648	20,879	4,505
263,250	15795	947700	973,499	467,769	489,087	21,318	4,599
265,250	15915	954900	977,190	467,769	488,950	21,181	4,570
267,250	16035	962100	980,867	467,769	489,210	21,441	4,626
268,250	16095	965700	982,700	467,769	489,539	21,770	4,697
						S [m ²]	0,004635
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,246200

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T4							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	515,851	515,851	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	515,851	519,354	3,503	0,745
0,050	3	180	13,416	515,851	518,110	2,259	0,481
0,083	5	300	17,321	515,851	517,330	1,479	0,315
0,167	10	600	24,495	515,851	515,420	-0,431	-0,092
0,250	15	900	30,000	515,851	514,361	-1,490	-0,317
0,500	30	1800	42,426	515,851	511,459	-4,392	-0,934
1,000	60	3600	60,000	515,851	509,063	-6,788	-1,444
2,000	120	7200	84,853	515,851	506,757	-9,094	-1,935
3,000	180	10800	103,923	515,851	505,121	-10,730	-2,283
4,000	240	14400	120,000	515,851	504,043	-11,808	-2,512
5,000	300	18000	134,164	515,851	502,783	-13,068	-2,780
6,000	360	21600	146,969	515,851	502,606	-13,245	-2,818
7,000	420	25200	158,745	515,851	501,685	-14,166	-3,014
20,900	1254	75240	274,299	515,851	498,172	-17,679	-3,761
21,900	1314	78840	280,785	515,851	497,486	-18,365	-3,907
22,900	1374	82440	287,124	515,851	497,496	-18,355	-3,905
23,900	1434	86040	293,326	515,851	497,505	-18,346	-3,903
24,900	1494	89640	299,399	515,851	497,447	-18,404	-3,916
25,900	1554	93240	305,352	515,851	496,813	-19,038	-4,051
26,900	1614	96840	311,191	515,851	496,680	-19,171	-4,079
27,900	1674	100440	316,923	515,851	496,679	-19,172	-4,079
28,900	1734	104040	322,552	515,851	496,339	-19,512	-4,151
29,900	1794	107640	328,085	515,851	495,955	-19,896	-4,233
45,000	2700	162000	402,492	515,851	492,683	-23,168	-4,929
46,000	2760	165600	406,940	515,851	492,428	-23,423	-4,984
47,000	2820	169200	411,339	515,851	492,552	-23,299	-4,957
48,000	2880	172800	415,692	515,851	492,372	-23,479	-4,996
49,000	2940	176400	420,000	515,851	492,320	-23,531	-5,007
50,000	3000	180000	424,264	515,851	491,871	-23,980	-5,102
51,000	3060	183600	428,486	515,851	492,142	-23,709	-5,044
52,000	3120	187200	432,666	515,851	492,039	-23,812	-5,066
53,000	3180	190800	436,807	515,851	491,614	-24,237	-5,157
54,000	3240	194400	440,908	515,851	490,790	-25,061	-5,332
70,900	4254	255240	505,213	515,851	490,132	-25,719	-5,472
71,900	4314	258840	508,763	515,851	489,935	-25,916	-5,514

72,900	4374	262440	512,289	515,851	489,418	-26,433	-5,624
73,900	4434	266040	515,791	515,851	489,348	-26,503	-5,639
74,900	4494	269640	519,269	515,851	489,575	-26,276	-5,591
75,900	4554	273240	522,724	515,851	488,987	-26,864	-5,716
76,900	4614	276840	526,156	515,851	489,482	-26,369	-5,610
77,900	4674	280440	529,566	515,851	489,077	-26,774	-5,697
78,900	4734	284040	532,954	515,851	489,832	-26,019	-5,536
100,000	6000	360000	600,000	515,851	487,317	-28,534	-6,071
141,900	8514	510840	714,731	515,851	487,012	-28,839	-6,136
145,900	8754	525240	724,734	515,851	487,118	-28,733	-6,113
149,900	8994	539640	734,602	515,851	486,913	-28,938	-6,157
178,000	10680	640800	800,500	515,851	484,820	-31,031	-6,602
188,900	11334	680040	824,645	515,851	485,409	-30,442	-6,477
190,900	11454	687240	828,999	515,851	485,517	-30,334	-6,454
192,900	11574	694440	833,331	515,851	486,314	-29,537	-6,284
194,900	11694	701640	837,640	515,851	485,844	-30,007	-6,384
196,900	11814	708840	841,926	515,851	485,822	-30,029	-6,389
197,900	11874	712440	844,062	515,851	486,094	-29,757	-6,331
213,000	12780	766800	875,671	515,851	486,352	-29,499	-6,276
215,000	12900	774000	879,773	515,851	486,028	-29,823	-6,345
217,000	13020	781200	883,855	515,851	485,282	-30,569	-6,504
219,000	13140	788400	887,919	515,851	486,201	-29,650	-6,309
221,000	13260	795600	891,964	515,851	485,251	-30,600	-6,511
236,900	14214	852840	923,493	515,851	485,429	-30,422	-6,473
238,900	14334	860040	927,383	515,851	484,472	-31,379	-6,676
240,900	14454	867240	931,257	515,851	484,474	-31,377	-6,676
242,900	14574	874440	935,115	515,851	485,086	-30,765	-6,546
244,900	14694	881640	938,957	515,851	484,132	-31,719	-6,749
						S [m²]	0,004700
						A [kg/(m².s ^½)]	-0,751000

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T5							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	463,820	463,820	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	463,820	467,180	3,360	0,693
0,050	3	180	13,416	463,820	466,733	2,913	0,601
0,083	5	300	17,321	463,820	466,560	2,740	0,565
0,167	10	600	24,495	463,820	465,543	1,723	0,355
0,250	15	900	30,000	463,820	464,584	0,764	0,158
0,500	30	1800	42,426	463,820	462,547	-1,273	-0,262
1,000	60	3600	60,000	463,820	460,184	-3,636	-0,750
2,000	120	7200	84,853	463,820	457,688	-6,132	-1,264
3,000	180	10800	103,923	463,820	456,697	-7,123	-1,469
4,000	240	14400	120,000	463,820	456,308	-7,512	-1,549
5,000	300	18000	134,164	463,820	455,325	-8,495	-1,752
6,000	360	21600	146,969	463,820	455,436	-8,384	-1,729

7,000	420	25200	158,745	463,820	454,988	-8,832	-1,821
20,900	1254	75240	274,299	463,820	452,461	-11,359	-2,342
21,900	1314	78840	280,785	463,820	452,311	-11,509	-2,373
22,900	1374	82440	287,124	463,820	452,206	-11,614	-2,395
23,900	1434	86040	293,326	463,820	452,267	-11,553	-2,382
24,900	1494	89640	299,399	463,820	451,916	-11,904	-2,454
25,900	1554	93240	305,352	463,820	451,599	-12,221	-2,520
26,900	1614	96840	311,191	463,820	451,411	-12,409	-2,559
27,900	1674	100440	316,923	463,820	450,946	-12,874	-2,654
28,900	1734	104040	322,552	463,820	450,605	-13,215	-2,725
29,900	1794	107640	328,085	463,820	450,929	-12,891	-2,658
45,000	2700	162000	402,492	463,820	448,849	-14,971	-3,087
46,000	2760	165600	406,940	463,820	448,600	-15,220	-3,138
47,000	2820	169200	411,339	463,820	448,997	-14,823	-3,056
48,000	2880	172800	415,692	463,820	447,772	-16,048	-3,309
49,000	2940	176400	420,000	463,820	447,777	-16,043	-3,308
50,000	3000	180000	424,264	463,820	447,954	-15,866	-3,271
51,000	3060	183600	428,486	463,820	448,169	-15,651	-3,227
52,000	3120	187200	432,666	463,820	447,763	-16,057	-3,311
53,000	3180	190800	436,807	463,820	447,808	-16,012	-3,301
54,000	3240	194400	440,908	463,820	447,766	-16,054	-3,310
70,900	4254	255240	505,213	463,820	446,665	-17,155	-3,537
71,900	4314	258840	508,763	463,820	446,712	-17,108	-3,527
72,900	4374	262440	512,289	463,820	446,048	-17,772	-3,664
73,900	4434	266040	515,791	463,820	446,036	-17,784	-3,667
74,900	4494	269640	519,269	463,820	445,517	-18,303	-3,774
75,900	4554	273240	522,724	463,820	445,975	-17,845	-3,679
76,900	4614	276840	526,156	463,820	446,139	-17,681	-3,646
77,900	4674	280440	529,566	463,820	445,588	-18,232	-3,759
78,900	4734	284040	532,954	463,820	446,466	-17,354	-3,578
100,000	6000	360000	600,000	463,820	444,437	-19,383	-3,996
141,900	8514	510840	714,731	463,820	444,349	-19,471	-4,015
145,900	8754	525240	724,734	463,820	442,865	-20,955	-4,321
149,900	8994	539640	734,602	463,820	441,855	-21,965	-4,529
178,000	10680	640800	800,500	463,820	442,552	-21,268	-4,385
188,900	11334	680040	824,645	463,820	442,756	-21,064	-4,343
190,900	11454	687240	828,999	463,820	443,184	-20,636	-4,255
192,900	11574	694440	833,331	463,820	442,409	-21,411	-4,415
194,900	11694	701640	837,640	463,820	442,341	-21,479	-4,429
196,900	11814	708840	841,926	463,820	442,246	-21,574	-4,448
197,900	11874	712440	844,062	463,820	441,623	-22,197	-4,577
213,000	12780	766800	875,671	463,820	442,411	-21,409	-4,414
215,000	12900	774000	879,773	463,820	442,156	-21,664	-4,467
217,000	13020	781200	883,855	463,820	442,182	-21,638	-4,461
219,000	13140	788400	887,919	463,820	441,883	-21,937	-4,523
221,000	13260	795600	891,964	463,820	442,718	-21,102	-4,351
236,900	14214	852840	923,493	463,820	442,169	-21,651	-4,464
238,900	14334	860040	927,383	463,820	441,568	-22,252	-4,588
240,900	14454	867240	931,257	463,820	441,783	-22,037	-4,544
242,900	14574	874440	935,115	463,820	441,924	-21,896	-4,515

244,900	14694	881640	938,957	463,820	441,734	-22,086	-4,554
						S [m ²]	0,004850
						A [kg/(m ² .s ^½)]	-0,660700

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T6							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^½]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	464,564	464,564	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	464,564	462,969	-1,595	-0,404
0,050	3	180	13,416	464,564	465,904	1,340	0,339
0,083	5	300	17,321	464,564	465,262	0,698	0,177
0,167	10	600	24,495	464,564	464,232	-0,332	-0,084
0,250	15	900	30,000	464,564	463,262	-1,302	-0,330
0,500	30	1800	42,426	464,564	460,953	-3,611	-0,914
1,000	60	3600	60,000	464,564	458,196	-6,368	-1,612
2,000	120	7200	84,853	464,564	455,989	-8,575	-2,171
3,000	180	10800	103,923	464,564	454,731	-9,833	-2,489
4,000	240	14400	120,000	464,564	453,638	-10,926	-2,766
5,000	300	18000	134,164	464,564	453,114	-11,450	-2,899
6,000	360	21600	146,969	464,564	452,537	-12,027	-3,045
7,000	420	25200	158,745	464,564	452,486	-12,078	-3,058
20,900	1254	75240	274,299	464,564	449,808	-14,756	-3,736
21,900	1314	78840	280,785	464,564	449,476	-15,088	-3,820
22,900	1374	82440	287,124	464,564	449,629	-14,935	-3,781
23,900	1434	86040	293,326	464,564	449,379	-15,185	-3,844
24,900	1494	89640	299,399	464,564	449,210	-15,354	-3,887
25,900	1554	93240	305,352	464,564	449,219	-15,345	-3,885
26,900	1614	96840	311,191	464,564	448,870	-15,694	-3,973
27,900	1674	100440	316,923	464,564	448,630	-15,934	-4,034
28,900	1734	104040	322,552	464,564	448,382	-16,182	-4,097
29,900	1794	107640	328,085	464,564	448,280	-16,284	-4,123
45,000	2700	162000	402,492	464,564	446,315	-18,249	-4,620
46,000	2760	165600	406,940	464,564	446,206	-18,358	-4,648
47,000	2820	169200	411,339	464,564	446,468	-18,096	-4,581
48,000	2880	172800	415,692	464,564	446,031	-18,533	-4,692
49,000	2940	176400	420,000	464,564	446,285	-18,279	-4,628
50,000	3000	180000	424,264	464,564	446,128	-18,436	-4,667
51,000	3060	183600	428,486	464,564	445,942	-18,622	-4,714
52,000	3120	187200	432,666	464,564	445,976	-18,588	-4,706
53,000	3180	190800	436,807	464,564	446,208	-18,356	-4,647
54,000	3240	194400	440,908	464,564	445,795	-18,769	-4,752
70,900	4254	255240	505,213	464,564	445,088	-19,476	-4,931
71,900	4314	258840	508,763	464,564	445,037	-19,527	-4,944
72,900	4374	262440	512,289	464,564	444,834	-19,730	-4,995
73,900	4434	266040	515,791	464,564	444,771	-19,793	-5,011
74,900	4494	269640	519,269	464,564	444,638	-19,926	-5,045
75,900	4554	273240	522,724	464,564	444,472	-20,092	-5,087
76,900	4614	276840	526,156	464,564	444,312	-20,252	-5,127

77,900	4674	280440	529,566	464,564	444,370	-20,194	-5,112
78,900	4734	284040	532,954	464,564	444,539	-20,025	-5,070
100,000	6000	360000	600,000	464,564	443,102	-21,462	-5,433
141,900	8514	510840	714,731	464,564	442,817	-21,747	-5,506
145,900	8754	525240	724,734	464,564	442,431	-22,133	-5,603
149,900	8994	539640	734,602	464,564	441,790	-22,774	-5,766
178,000	10680	640800	800,500	464,564	441,837	-22,727	-5,754
188,900	11334	680040	824,645	464,564	441,878	-22,686	-5,743
190,900	11454	687240	828,999	464,564	441,982	-22,582	-5,717
192,900	11574	694440	833,331	464,564	441,740	-22,824	-5,778
194,900	11694	701640	837,640	464,564	441,260	-23,304	-5,900
196,900	11814	708840	841,926	464,564	441,690	-22,874	-5,791
197,900	11874	712440	844,062	464,564	441,673	-22,891	-5,795
213,000	12780	766800	875,671	464,564	441,147	-23,417	-5,928
215,000	12900	774000	879,773	464,564	441,249	-23,315	-5,903
217,000	13020	781200	883,855	464,564	441,650	-22,914	-5,801
219,000	13140	788400	887,919	464,564	441,200	-23,364	-5,915
221,000	13260	795600	891,964	464,564	441,071	-23,493	-5,948
236,900	14214	852840	923,493	464,564	440,829	-23,735	-6,009
238,900	14334	860040	927,383	464,564	440,703	-23,861	-6,041
240,900	14454	867240	931,257	464,564	440,408	-24,156	-6,115
242,900	14574	874440	935,115	464,564	440,712	-23,852	-6,038
244,900	14694	881640	938,957	464,564	439,976	-24,588	-6,225
						S [m²]	0,003950
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	-0,713950

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T7							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	804,897	804,897	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	804,897	805,705	0,808	0,155
0,050	3	180	13,416	804,897	806,062	1,165	0,223
0,083	5	300	17,321	804,897	806,371	1,474	0,282
0,167	10	600	24,495	804,897	806,247	1,350	0,258
0,250	15	900	30,000	804,897	806,483	1,586	0,304
0,500	30	1800	42,426	804,897	806,671	1,774	0,340
1,000	60	3600	60,000	804,897	806,595	1,698	0,325
2,000	120	7200	84,853	804,897	806,683	1,786	0,342
3,000	180	10800	103,923	804,897	806,758	1,861	0,356
4,000	240	14400	120,000	804,897	806,664	1,767	0,338
5,000	300	18000	134,164	804,897	806,876	1,979	0,379
6,000	360	21600	146,969	804,897	807,220	2,323	0,445
17,633	1058	63480	251,952	804,897	807,104	2,207	0,422
18,633	1118	67080	258,998	804,897	807,077	2,180	0,417
19,633	1178	70680	265,857	804,897	807,325	2,428	0,465
20,633	1238	74280	272,544	804,897	807,498	2,601	0,498
21,633	1298	77880	279,070	804,897	807,171	2,274	0,435
22,633	1358	81480	285,447	804,897	807,311	2,414	0,462

23,633	1418	85080	291,685	804,897	807,284	2,387	0,457
24,633	1478	88680	297,792	804,897	807,525	2,628	0,503
25,633	1538	92280	303,776	804,897	807,247	2,350	0,450
26,633	1598	95880	309,645	804,897	807,764	2,867	0,549
27,633	1658	99480	315,405	804,897	807,490	2,593	0,496
28,633	1718	103080	321,061	804,897	807,828	2,931	0,561
29,633	1778	106680	326,619	804,897	807,781	2,884	0,552
43,733	2624	157440	396,787	804,897	807,400	2,503	0,479
44,733	2684	161040	401,298	804,897	807,818	2,921	0,559
45,733	2744	164640	405,759	804,897	807,775	2,878	0,551
46,733	2804	168240	410,171	804,897	807,665	2,768	0,530
47,733	2864	171840	414,536	804,897	807,902	3,005	0,575
48,733	2924	175440	418,856	804,897	807,856	2,959	0,566
49,733	2984	179040	423,131	804,897	807,766	2,869	0,549
50,733	3044	182640	427,364	804,897	808,000	3,103	0,594
51,733	3104	186240	431,555	804,897	808,500	3,603	0,690
52,733	3164	189840	435,706	804,897	808,400	3,503	0,670
67,633	4058	243480	493,437	804,897	809,100	4,203	0,804
68,633	4118	247080	497,071	804,897	809,200	4,303	0,824
69,633	4178	250680	500,680	804,897	809,200	4,303	0,824
70,633	4238	254280	504,262	804,897	809,100	4,203	0,804
71,633	4298	257880	507,819	804,897	809,000	4,103	0,785
72,633	4358	261480	511,351	804,897	809,300	4,403	0,843
73,633	4418	265080	514,859	804,897	809,200	4,303	0,824
74,633	4478	268680	518,344	804,897	809,100	4,203	0,804
75,633	4538	272280	521,805	804,897	809,400	4,503	0,862
76,633	4598	275880	525,243	804,897	809,200	4,303	0,824
93,733	5624	337440	580,896	804,897	809,700	4,803	0,919
94,733	5684	341040	583,986	804,897	809,500	4,603	0,881
95,733	5744	344640	587,060	804,897	809,500	4,603	0,881
96,733	5804	348240	590,119	804,897	809,600	4,703	0,900
97,733	5864	351840	593,161	804,897	809,600	4,703	0,900
98,733	5924	355440	596,188	804,897	809,600	4,703	0,900
99,733	5984	359040	599,199	804,897	809,700	4,803	0,919
100,733	6044	362640	602,196	804,897	809,500	4,603	0,881
101,733	6104	366240	605,178	804,897	809,600	4,703	0,900
122,633	7358	441480	664,440	804,897	810,400	5,503	1,053
164,733	9884	593040	770,091	804,897	811,100	6,203	1,187
168,733	10124	607440	779,384	804,897	811,000	6,103	1,168
172,733	10364	621840	788,568	804,897	811,000	6,103	1,168
200,633	12038	722280	849,871	804,897	811,700	6,803	1,302
211,733	12704	762240	873,064	804,897	812,000	7,103	1,359
213,733	12824	769440	877,177	804,897	811,400	6,503	1,245
215,733	12944	776640	881,272	804,897	811,300	6,403	1,225
217,733	13064	783840	885,347	804,897	811,200	6,303	1,206
219,733	13184	791040	889,404	804,897	811,600	6,703	1,283
220,733	13244	794640	891,426	804,897	811,800	6,903	1,321
235,633	14138	848280	921,021	804,897	812,200	7,303	1,398
237,633	14258	855480	924,922	804,897	812,100	7,203	1,379
239,633	14378	862680	928,806	804,897	812,200	7,303	1,398

241,633	14498	869880	932,674	804,897	812,100	7,203	1,379
243,633	14618	877080	936,525	804,897	812,300	7,403	1,417
259,733	15584	935040	966,975	804,897	812,400	7,503	1,436
261,733	15704	942240	970,690	804,897	812,200	7,303	1,398
263,733	15824	949440	974,392	804,897	812,500	7,603	1,455
265,733	15944	956640	978,080	804,897	812,400	7,503	1,436
267,733	16064	963840	981,754	804,897	812,400	7,503	1,436
						S [m ²]	0,005225
						A [kg/(m ² .s ^{1/2})]	0,039200

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T8							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m ²]
0,000	0	0	0,000	713,068	713,068	0,000	0,000
0,017	1	60	7,746	713,068	714,471	1,403	0,279
0,050	3	180	13,416	713,068	714,759	1,691	0,336
0,083	5	300	17,321	713,068	714,871	1,803	0,358
0,167	10	600	24,495	713,068	714,945	1,877	0,373
0,250	15	900	30,000	713,068	714,832	1,764	0,350
0,500	30	1800	42,426	713,068	715,255	2,187	0,434
1,000	60	3600	60,000	713,068	715,546	2,478	0,492
2,000	120	7200	84,853	713,068	715,587	2,519	0,500
3,000	180	10800	103,923	713,068	715,370	2,302	0,457
4,000	240	14400	120,000	713,068	715,494	2,426	0,482
5,000	300	18000	134,164	713,068	715,546	2,478	0,492
6,000	360	21600	146,969	713,068	715,559	2,491	0,495
17,633	1058	63480	251,952	713,068	716,308	3,240	0,643
18,633	1118	67080	258,998	713,068	715,861	2,793	0,555
19,633	1178	70680	265,857	713,068	716,115	3,047	0,605
20,633	1238	74280	272,544	713,068	716,199	3,131	0,622
21,633	1298	77880	279,070	713,068	715,951	2,883	0,573
22,633	1358	81480	285,447	713,068	716,143	3,075	0,611
23,633	1418	85080	291,685	713,068	715,939	2,871	0,570
24,633	1478	88680	297,792	713,068	716,276	3,208	0,637
25,633	1538	92280	303,776	713,068	716,223	3,155	0,627
26,633	1598	95880	309,645	713,068	716,116	3,048	0,605
27,633	1658	99480	315,405	713,068	715,996	2,928	0,582
28,633	1718	103080	321,061	713,068	716,108	3,040	0,604
29,633	1778	106680	326,619	713,068	716,166	3,098	0,615
43,733	2624	157440	396,787	713,068	716,163	3,095	0,615
44,733	2684	161040	401,298	713,068	716,265	3,197	0,635
45,733	2744	164640	405,759	713,068	716,330	3,262	0,648
46,733	2804	168240	410,171	713,068	716,466	3,398	0,675
47,733	2864	171840	414,536	713,068	716,673	3,605	0,716
48,733	2924	175440	418,856	713,068	716,559	3,491	0,693
49,733	2984	179040	423,131	713,068	716,441	3,373	0,670
50,733	3044	182640	427,364	713,068	716,552	3,484	0,692
51,733	3104	186240	431,555	713,068	716,662	3,594	0,714

52,733	3164	189840	435,706	713,068	716,547	3,479	0,691
67,633	4058	243480	493,437	713,068	716,955	3,887	0,772
68,633	4118	247080	497,071	713,068	716,961	3,893	0,773
69,633	4178	250680	500,680	713,068	717,039	3,971	0,789
70,633	4238	254280	504,262	713,068	717,054	3,986	0,792
71,633	4298	257880	507,819	713,068	717,009	3,941	0,783
72,633	4358	261480	511,351	713,068	717,075	4,007	0,796
73,633	4418	265080	514,859	713,068	717,305	4,237	0,842
74,633	4478	268680	518,344	713,068	717,146	4,078	0,810
75,633	4538	272280	521,805	713,068	716,985	3,917	0,778
76,633	4598	275880	525,243	713,068	717,114	4,046	0,804
93,733	5624	337440	580,896	713,068	717,173	4,105	0,815
94,733	5684	341040	583,986	713,068	717,342	4,274	0,849
95,733	5744	344640	587,060	713,068	717,110	4,042	0,803
96,733	5804	348240	590,119	713,068	716,946	3,878	0,770
97,733	5864	351840	593,161	713,068	717,117	4,049	0,804
98,733	5924	355440	596,188	713,068	717,069	4,001	0,795
99,733	5984	359040	599,199	713,068	717,251	4,183	0,831
100,733	6044	362640	602,196	713,068	716,842	3,774	0,750
101,733	6104	366240	605,178	713,068	717,291	4,223	0,839
122,633	7358	441480	664,440	713,068	717,765	4,697	0,933
164,733	9884	593040	770,091	713,068	718,100	5,032	0,999
168,733	10124	607440	779,384	713,068	718,400	5,332	1,059
172,733	10364	621840	788,568	713,068	718,500	5,432	1,079
200,633	12038	722280	849,871	713,068	718,930	5,862	1,164
211,733	12704	762240	873,064	713,068	719,337	6,269	1,245
213,733	12824	769440	877,177	713,068	719,322	6,254	1,242
215,733	12944	776640	881,272	713,068	719,449	6,381	1,267
217,733	13064	783840	885,347	713,068	719,551	6,483	1,288
219,733	13184	791040	889,404	713,068	719,949	6,881	1,367
220,733	13244	794640	891,426	713,068	719,898	6,830	1,357
235,633	14138	848280	921,021	713,068	720,257	7,189	1,428
237,633	14258	855480	924,922	713,068	720,468	7,400	1,470
239,633	14378	862680	928,806	713,068	720,140	7,072	1,405
241,633	14498	869880	932,674	713,068	720,207	7,139	1,418
243,633	14618	877080	936,525	713,068	720,204	7,136	1,417
259,733	15584	935040	966,975	713,068	720,499	7,431	1,476
261,733	15704	942240	970,690	713,068	720,867	7,799	1,549
263,733	15824	949440	974,392	713,068	720,872	7,804	1,550
265,733	15944	956640	978,080	713,068	721,001	7,933	1,576
267,733	16064	963840	981,754	713,068	720,785	7,717	1,533
						S [m²]	0,005035
						A [kg/(m².s ^{1/2})]	0,062150

Quadro A - Síntese da campanha experimental realizada em todos os provetes (continuação)

T9							
Tempo [h]	Tempo [min]	Tempo [s]	Tempo [s ^{1/2}]	M0 [g]	M [g]	M [g] - M0 [g]	(ΔM)/S [kg/m²]
0,000	0	0	0,000	771,242	771,242	0,000	0,000

0,017	1	60	7,746	771,242	772,057	0,815	0,159
0,050	3	180	13,416	771,242	772,252	1,010	0,197
0,083	5	300	17,321	771,242	772,418	1,176	0,229
0,167	10	600	24,495	771,242	772,397	1,155	0,225
0,250	15	900	30,000	771,242	772,602	1,360	0,265
0,500	30	1800	42,426	771,242	772,642	1,400	0,273
1,000	60	3600	60,000	771,242	772,614	1,372	0,267
2,000	120	7200	84,853	771,242	772,849	1,607	0,313
3,000	180	10800	103,923	771,242	772,995	1,753	0,342
4,000	240	14400	120,000	771,242	772,914	1,672	0,326
5,000	300	18000	134,164	771,242	772,980	1,738	0,339
6,000	360	21600	146,969	771,242	773,022	1,780	0,347
17,633	1058	63480	251,952	771,242	773,388	2,146	0,418
18,633	1118	67080	258,998	771,242	773,188	1,946	0,379
19,633	1178	70680	265,857	771,242	773,370	2,128	0,415
20,633	1238	74280	272,544	771,242	773,365	2,123	0,414
21,633	1298	77880	279,070	771,242	773,295	2,053	0,400
22,633	1358	81480	285,447	771,242	773,493	2,251	0,439
23,633	1418	85080	291,685	771,242	773,416	2,174	0,424
24,633	1478	88680	297,792	771,242	773,760	2,518	0,491
25,633	1538	92280	303,776	771,242	773,332	2,090	0,407
26,633	1598	95880	309,645	771,242	773,572	2,330	0,454
27,633	1658	99480	315,405	771,242	773,423	2,181	0,425
28,633	1718	103080	321,061	771,242	773,939	2,697	0,526
29,633	1778	106680	326,619	771,242	773,873	2,631	0,513
43,733	2624	157440	396,787	771,242	773,692	2,450	0,478
44,733	2684	161040	401,298	771,242	774,190	2,948	0,575
45,733	2744	164640	405,759	771,242	774,126	2,884	0,562
46,733	2804	168240	410,171	771,242	774,152	2,910	0,567
47,733	2864	171840	414,536	771,242	774,051	2,809	0,548
48,733	2924	175440	418,856	771,242	774,150	2,908	0,567
49,733	2984	179040	423,131	771,242	774,040	2,798	0,545
50,733	3044	182640	427,364	771,242	774,078	2,836	0,553
51,733	3104	186240	431,555	771,242	774,048	2,806	0,547
52,733	3164	189840	435,706	771,242	774,129	2,887	0,563
67,633	4058	243480	493,437	771,242	774,230	2,988	0,582
68,633	4118	247080	497,071	771,242	774,214	2,972	0,579
69,633	4178	250680	500,680	771,242	774,327	3,085	0,601
70,633	4238	254280	504,262	771,242	774,427	3,185	0,621
71,633	4298	257880	507,819	771,242	774,126	2,884	0,562
72,633	4358	261480	511,351	771,242	774,215	2,973	0,580
73,633	4418	265080	514,859	771,242	774,398	3,156	0,615
74,633	4478	268680	518,344	771,242	774,462	3,220	0,628
75,633	4538	272280	521,805	771,242	774,165	2,923	0,570
76,633	4598	275880	525,243	771,242	774,320	3,078	0,600
93,733	5624	337440	580,896	771,242	774,573	3,331	0,649
94,733	5684	341040	583,986	771,242	774,368	3,126	0,609
95,733	5744	344640	587,060	771,242	774,336	3,094	0,603
96,733	5804	348240	590,119	771,242	774,347	3,105	0,605
97,733	5864	351840	593,161	771,242	774,334	3,092	0,603

98,733	5924	355440	596,188	771,242	774,377	3,135	0,611
99,733	5984	359040	599,199	771,242	774,295	3,053	0,595
100,733	6044	362640	602,196	771,242	774,533	3,291	0,642
101,733	6104	366240	605,178	771,242	774,703	3,461	0,675
122,633	7358	441480	664,440	771,242	775,310	4,068	0,793
164,733	9884	593040	770,091	771,242	775,900	4,658	0,908
168,733	10124	607440	779,384	771,242	775,700	4,458	0,869
172,733	10364	621840	788,568	771,242	775,700	4,458	0,869
200,633	12038	722280	849,871	771,242	776,249	5,007	0,976
211,733	12704	762240	873,064	771,242	776,725	5,483	1,069
213,733	12824	769440	877,177	771,242	776,877	5,635	1,098
215,733	12944	776640	881,272	771,242	776,718	5,476	1,067
217,733	13064	783840	885,347	771,242	776,632	5,390	1,051
219,733	13184	791040	889,404	771,242	776,707	5,465	1,065
220,733	13244	794640	891,426	771,242	776,939	5,697	1,111
235,633	14138	848280	921,021	771,242	777,263	6,021	1,174
237,633	14258	855480	924,922	771,242	777,295	6,053	1,180
239,633	14378	862680	928,806	771,242	777,174	5,932	1,156
241,633	14498	869880	932,674	771,242	777,408	6,166	1,202
243,633	14618	877080	936,525	771,242	777,451	6,209	1,210
259,733	15584	935040	966,975	771,242	777,453	6,211	1,211
261,733	15704	942240	970,690	771,242	777,734	6,492	1,265
263,733	15824	949440	974,392	771,242	777,606	6,364	1,241
265,733	15944	956640	978,080	771,242	777,663	6,421	1,252
267,733	16064	963840	981,754	771,242	777,487	6,245	1,217
						S [m²]	0,005130
						A [kg/(m².s ^½)]	0,033450

B. DEFINIÇÃO DAS CURVAS DE ENTALPIA, TEMPERATURA (PCM)

Quadro B1 - Definição curva de entalpia RT24

PCM	RT24	WUFI
Temperatura [°C]	Entalpia [J/kg]	Entalpia [J/kg] (30% PCM)
0	0	0
1	2000	2000
2	4000	
3	6000	
4	8000	
5	10000	
6	12000	
7	14000	
8	16000	
9	18000	
10	20000	
11	22000	
12	24000	
13	26000	
14	28000	
15	30000	9000
16	35000	10500
17	41000	12300
18	48000	14400
19	56000	16800
20	67000	20100
21	81000	24300
22	98000	29400
23	121000	36300
24	149000	44700
25	167000	50100
26	169000	
27	171000	
28	173000	
29	175000	
30	177000	
31	179000	
32	181000	
33	183000	
34	185000	
35	187000	
36	189000	
37	191000	
38	193000	
39	195000	
40	197000	
41	199000	
42	201000	

43	203000
44	205000
45	207000
46	209000
47	211000
48	213000
49	215000
50	217000
51	219000
52	221000
53	223000
54	225000
55	227000
56	229000
57	231000
58	233000
59	235000
60	237000
61	239000
62	241000
63	243000
64	245000
65	247000
66	249000
67	251000
68	253000
69	255000
70	257000
71	259000
72	261000
73	263000
74	265000
75	267000
76	269000
77	271000
78	273000
79	275000
80	277000
81	279000
82	281000
83	283000
84	285000
85	287000
86	289000
87	291000
88	293000
89	295000
90	297000
91	299000
92	301000

93	303000	
94	305000	
95	307000	
96	309000	
97	311000	
98	313000	
99	315000	
100	317000	200100

Quadro B2 - Definição curva de entalpia SP24E

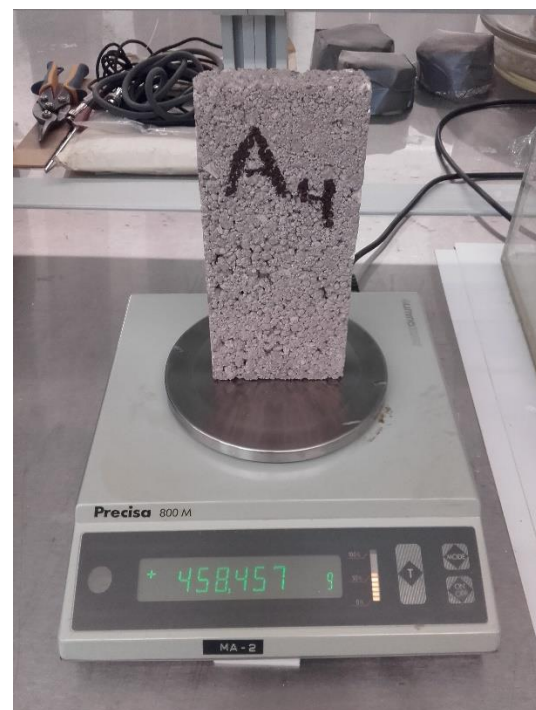
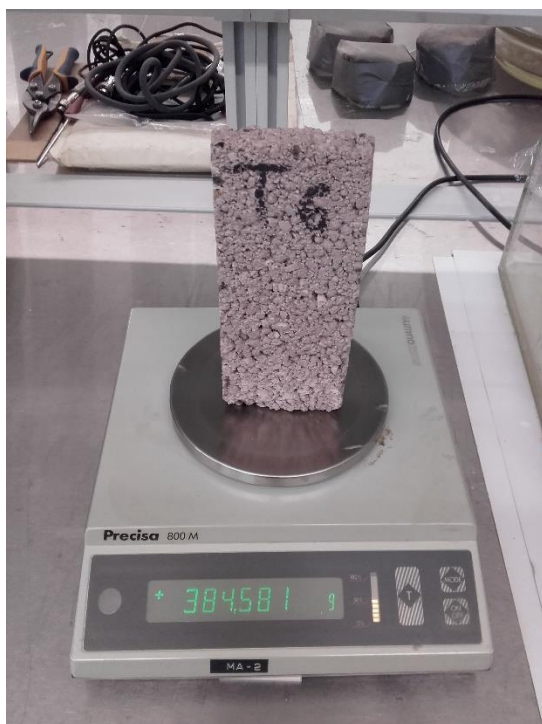
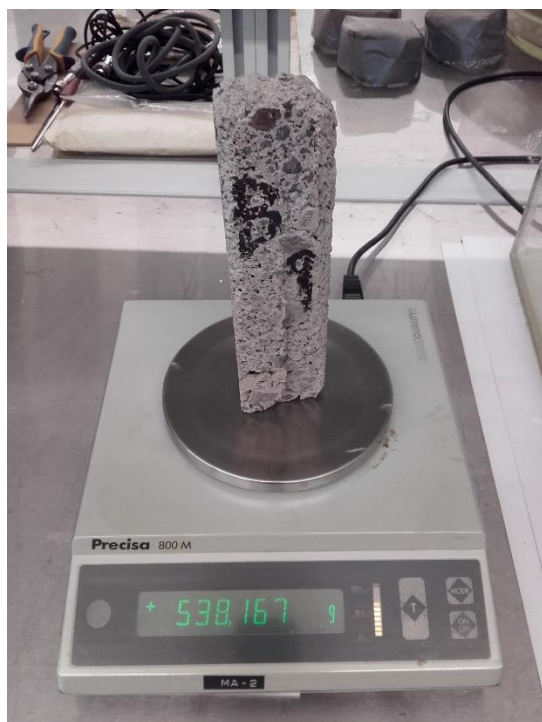
PCM	SP24E	WUFI
Temperatura [°C]	Entalpia [J/kg]	Entalpia [J/kg] (30% PCM)
0	0	0
1	2000	2000
2	4000	
3	6000	
4	8000	
5	10000	
6	12000	
7	14000	
8	16000	
9	18000	
10	20000	
11	22000	
12	24000	
13	26000	
14	28000	
15	30000	
16	32000	
17	34000	
18	36000	
19	38000	
20	40000	
21	42000	
22	44000	
23	46000	13800
24	193000	57900
25	230000	69000
26	239000	71700
27	241000	
28	243000	
29	245000	
30	247000	
31	249000	
32	251000	
33	253000	
34	255000	
35	257000	

36	259000
37	261000
38	263000
39	265000
40	267000
41	269000
42	271000
43	273000
44	275000
45	277000
46	279000
47	281000
48	283000
49	285000
50	287000
51	289000
52	291000
53	293000
54	295000
55	297000
56	299000
57	301000
58	303000
59	305000
60	307000
61	309000
62	311000
63	313000
64	315000
65	317000
66	319000
67	321000
68	323000
69	325000
70	327000
71	329000
72	331000
73	333000
74	335000
75	337000
76	339000
77	341000
78	343000
79	345000
80	347000
81	349000
82	351000
83	353000
84	355000
85	357000

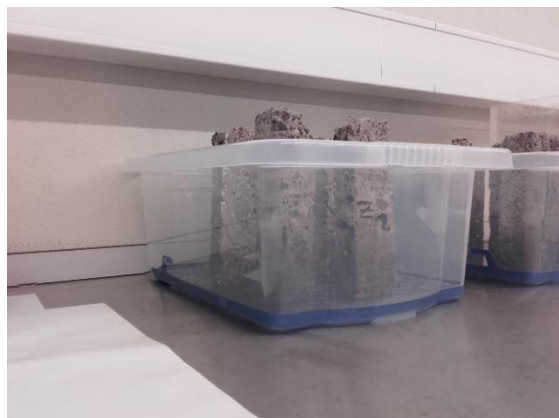
86	359000	
87	361000	
88	363000	
89	365000	
90	367000	
91	369000	
92	371000	
93	373000	
94	375000	
95	377000	
96	379000	
97	381000	
98	383000	
99	385000	
100	387000	219700

C. PESO SECO

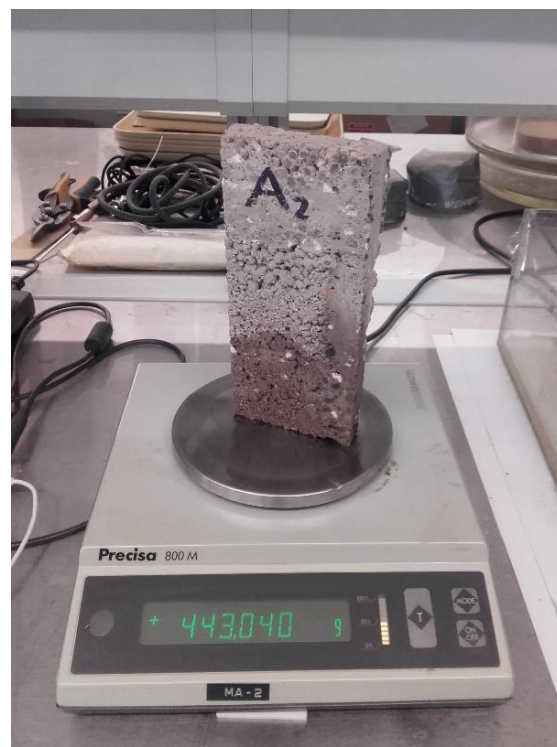
Quadro C1 – Exemplo determinação peso seco



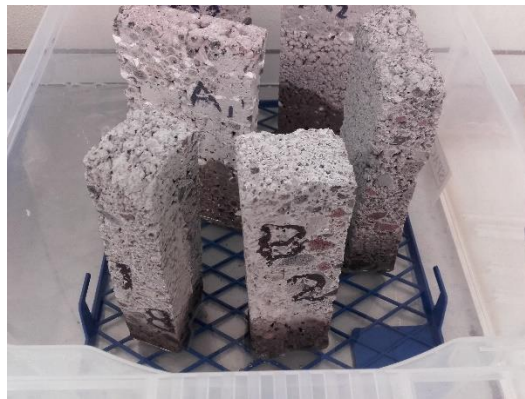
Quadro C2 – Exemplo: ensaio a decorrer



Quadro C3 – Exemplo determinação peso total



Quadro C4 – Exemplo: progressão humidade ascensional



Quadro C5 – Deteriorização devido a PCM SP24E



